

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Institut dopravy

Posouzení energetiky provozu na traťovém úseku po jeho
elektrifikaci

Assessment of Energy Consumption on Rail Segment after Electrification

Student: David Mlotek

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Jaromír Široký, Ph.D.

Ostrava 2018

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Institut dopravy

Zadání bakalářské práce

Student:

David Mlotek

Studijní program:

B2341 Strojírenství

Studijní obor:

2301R003 Dopravní technika a technologie

Téma:

Posouzení energetiky provozu na traťovém úseku po jeho elektrifikaci
Assessment of Energy Consumption on Rail Segment after
Electrification

Jazyk vypracování:

čeština

Zásady pro vypracování:

Cíl práce:

Na základě analýzy provozních podmínek stanovit normativy vybraných typů vlaků a jejich energetickou náročnost po předpokládané elektrifikaci na traťovém úseku Ostrava - Kunčice - Frýdek-Místek - Valašské Meziříčí.

Postup řešení:

- 1) Analýza traťových a provozních poměrů na traťovém úseku.
- 2) Stanovení normativů hmotnosti nákladních vlaků pro vybrané řady elektrických hnacích vozidel pro daný úsek.
- 3) Výpočet parametrů pohybu vybraných nákladních vlaků a jejich porovnání před a po elektrifikaci úseku.
- 4) Stanovení energetické náročnosti při dopravě těchto vlaků.
- 5) Provozně technické vyhodnocení.

Seznam doporučené odborné literatury:

Podklady provozovatelů dopravy

ŠIROKÝ, Jaromír. *Mechanika v dopravě. Ostrava*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2004.

ANTONICKÝ, Stanislav. *Provoz hnacích vozidel*. Bratislava: Alfa. 1987. 423 s.

ANTONICKÝ, Stanislav. *Provoz kolejových vozidel II (Vozební výpočty)*. Bratislava: Alfa. 1987.

FMD. *Předpis V7 Trakční výpočty (včetně příloh)*. Praha. FMD. 1982.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

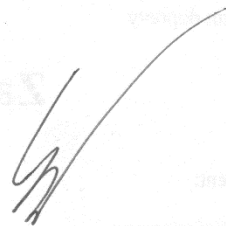
Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jaromír Šíroký, Ph.D.**

Datum zadání: 08.12.2017

Datum odevzdání: 21.05.2018



doc. Ing. Aleš Slíva, Ph.D.
vedoucí katedry



doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 21.05.2018


.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на вѣдомі, же Высoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на вѣдомі, же odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě: 21.05.2018



podpis

Jméno a příjmení autora práce: David Mlotek

Adresa trvalého pobytu autora práce: Těřeškovové 2228/48, 734 01, Karviná

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

MLOTEK, D. *Posouzení energetiky provozu na traťovém úseku po jeho elektrifikaci: bakalářská práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Institut dopravy, 2018, 73 s. Vedoucí práce: Ing. Jaromír Široký, Ph.D.

Bakalářská práce se zabývá posouzením energetiky provozu na traťovém úseku Ostrava-Kunčice – Valašské Meziříčí po jeho elektrifikaci. V práci je provedená analýza traťových a provozních poměrů na tomto úseku. Dále je stanoven technický normativ hmotnosti nákladních vlaků pro vybrané řady elektrických hnacích vozidel. Pro tyto nákladní vlaky jsou vypočteny parametry pohybu a stanovení energetické náročnosti při jejich dopravě. V závěru je provedeno provozně technické vyhodnocení.

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

MLOTEK, D. *Assessment of Energy Consumption on Rail Segment after Electrification: Bachelor Thesis*. Ostrava: VSB - Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, The Institute of Transport, 2018, 73 p. Thesis head: Ing. Jaromír Široký, Ph.D.

Thesis deals with the assessment of the power engineering of the Ostrava-Kunčice - Valašské Meziříčí railway section after its electrification. In this thesis the analysis of track and operational conditions in this section is performed. The technical normative of the weight of freight trains for selected series of electric traction vehicles is also specified. For these freight trains the parameters of motion and the determination of the energy intensity of their transport are calculated. Technical evaluation is performed on the end.

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval svému vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Jaromíru Širokému, Ph.D. za rady a připomínky k mé práci.

Obsah

Seznam obrázků	11
Seznam tabulek	12
Seznam grafů.....	13
Seznam použitých značek a symbolů	14
Úvod	17
1 Historie trati	18
2 Charakteristika trati.....	19
3 Analýza trat'ových poměrů Ostrava Kunčice – Valašské Meziříčí	20
3.1 Rychlostní profil trati v jednotlivých směrech.....	22
4 Úprava profilu pro vozební výpočty ¹	33
4.1 Rozhodné stoupání.....	35
4.2 Rozhodný spád.....	35
5 Analýza provozních poměrů trati Ostrava Kunčice – Valašské Meziříčí.....	24
5.1 Osobní doprava na trati.....	24
5.2 Nákladní doprava na trati.....	24
5.3 Přehled technických normativů hmotnosti nákladních vlaků.	26
6 Popis vybraných elektrických lokomotiv	28
6.1 Popis elektrické lokomotivy E 499.3 (163) ⁴	28
6.2 Popis elektrické lokomotivy E 479.0 (130) ⁵	30
7 Stanovení normativů hmotnosti nákladních vlaků pro vybrané řady elektrických hnacích vozidel pro daný úsek. ².....	36
7.1 Základní kategorie hmotností	36

7.2	Výpočet technického normativu M_T	36
7.3	Rozjezdový normativ hmotnosti	36
7.4	Průjezdový normativ hmotnosti	38
8	Výpočet parametrů pohybu vybraných nákladních vlaků a jejich porovnání před a po elektrifikaci úseku ²	40
8.1	Tachogram	40
8.2	Konstrukce tachogramu	40
8.3	Jízda silou – tažná síla na obvodu kol $F_0 > 0$ N	41
8.4	Jízda výběhem – tažná síla na obvodu kol $F_0 = 0$ N	42
8.5	Jízda konstantní rychlostí $V = \text{konst}$, plynulá regulace	43
8.6	Brzdění vlaku	44
8.7	Udržování rychlosti brzdným režimem	46
8.8	Teoretická jízdní doba.....	46
9	Vzorový výpočet tachogramu pro lokomotivu E 499.3 (163)	47
9.1	Tíha hnacího vozidla	47
9.2	Tíha tažených vozidel	47
9.3	Odpor hnacího vozidla	47
9.4	Odpor tažených vozidel	47
9.5	Jízda silou $F > 0$ N	48
9.6	Jízda výběhem $F_0 = 0$ N	49
9.7	Jízda konstantní rychlostí $V = \text{konst}$	50
9.8	Brzdění vozidla	50
9.9	Udržování rychlosti brzdným režimem	52
9.10	Teoretická jízdní doba.....	53

10 Porovnání parametrů pohybu jízdy vlaků elektrické a motorové trakce.....	54
10.1 Porovnání parametrů pohybu jízdy vlaků ve směru Ostrava-Kunčice – Valašské Meziříčí	54
10.1 Porovnání parametrů pohybu jízdy vlaků ve směru Ostrava-Kunčice – Valašské Meziříčí	57
11 Stanovení energetické náročnosti ²	60
11.1 Energie spotřebovaná jedním trakčním motorem pro vozbu	60
11.2 Energie spotřebovaná pro napájení pomocných zařízení.....	62
11.3 Energie spotřebovaná pro napájení tažených vozidel	62
12 Vzorové výpočty	63
12.1 Energie spotřebovaná jedním trakčním motorem v 14. kroku.....	63
12.2 Celková energie spotřebovaná pro vozbu všemi trakčními motory v 14. kroku.....	63
12.3 Energie spotřebovaná pro napájení pomocných zařízení v 14. kroku	64
12.4 Celkově spotřebovaná elektrická energie v 14. kroku	64
13 Provozně technické vyhodnocení.....	66
Seznam použité literatury	67
Přílohy	68

Seznam obrázků

Obr. 1 Mapa trati Ostrava hl. n. – Valašské Meziříčí [3]	19
Obr. 2 Elektrické HV E 499.3 (163).....	28
Obr. 3 Typový výkres lokomotivy E 499.3 (163).....	29
Obr. 4 Elektrické HV řady E 479.0 (130).....	31
Obr. 5 Typový výkres HV E 479.0 (130)	31

Seznam tabulek

Tab. 1 Kilometrická poloha jednotlivých dopraven a typ traťového zabezpečení	20
Tab. 2 Normativní délka vlaku	21
Tab. 3 Délka vlaků nákladní dopravy	21
Tab. 4 Nejvyšší traťová rychlost v daném úseku.....	21
Tab. 5 Nejvyšší traťová rychlost v daném úseku směr Ostrava-Kunčice-Valašské Meziříčí	22
Tab. 6 Nejvyšší traťová rychlost v daném úseku směr Valašské Meziříčí-Ostrava- Kunčice	23
Tab. 7 Tabulka redukovaného profilu pro 28 až 38 úsek	34
Tab. 8 Vypočtené rozhodné stoupání v obou směrech trati.....	35
Tab. 9 Vypočtený rozhodný spád v obou směrech trati	35
Tab. 10 Tabulka technických normativů hmotnosti nákladních vlaků pro jednotlivé úseky	26
Tab. 11 Tabulka technických normativů hmotnosti nákladních vlaků za předpokladu ucelených vlaků	27
Tab. 12 Technické údaje HV E 499.3 (163)	29
Tab. 13 Technické údaje HV E 479.0 (130)	32
Tab. 14 Tabulka technických normativů pro daná hnací vozidla v obou směrech traťového úseku	39
Tab. 15 Brzdění do stanice Lískovec u Frýdku	52
Tab. 16 Ukázková tabulka všech situací při výpočtu tachogramu	53
Tab. 17 Porovnání jízdních dob elektrické trakce s MN 80050	55
Tab. 18 Porovnání jízdních dob s vybranými vlaky	56
Tab. 19 Porovnání technických normativů pro celou trať	56
Tab. 20 Porovnání jízdních dob elektrické trakce s Mn 80053	58
Tab. 21 Porovnání jízdních dob s vybranými vlaky	58
Tab. 22 Porovnání technických normativů pro celou trať	59
Tab. 23. Tabulka výpočtu spotřeby elektrické energie pro prvních 14. kroků	64

Seznam grafů

Graf. 1 Podíl osobní a nákladní dopravy	24
Graf. 2 Počet použitých typu HV	25
Graf. 3 Ukázka jízdy rychlosti blízké k rychlosti maximální	43
Graf. 4 Ukázka jízdy vlaku pomocí brzdného režimu	53
Graf. 5 Porovnání dráhových tachogramů vlaků vedených HV 163 a HV 130	54
Graf. 6 Porovnání dráhových tachogramů vlaků vedených HV 163 a HV 130	57

Seznam použitých značek a symbolů

a_b	brzdné zpomalení	$[m/s^2]$
AB	automatický blok	
a, b, c	koefficienty součinitelů vozidlových odporů	[1]
ČD	České dráhy	
E_{1TM}	spotřeba připadající na jeden trakční motor	[V]
E_C	celková spotřeba energie při jízdě vlaku	[kW]
E_{NAP}	energie spotřebovaná taženými vozidly	[kW]
E_{PZ}	energie spotřebovaná pro pohon pomocných zařízení HV	[kW]
E_{TR}	energie spotřebovaná pro vozbu	[kW]
E_Z	energie potřebná k pokrytí ztrát	[kW]
F_o	tažná síla na obvodu kol	[N]
F_{OP}	tažná síla na obvodu kol pro průjezd	[N]
F_{OR}	tažná síla na obvodu kol pro rozjezd	[N]
F_{spP}	tažná síla na spřáhle, určená pro stanovenou rychlost	[N]
F_{spR}	tažná síla na spřáhle pro rozjezd	[N]
G_D	tíha dopravovaných vozidel	[N]
G_L	tíha hnacího vozidla	[N]
HV	hnací vozidla	
I_{1TM}	hodnota proudu v i-tém časovém úseku.	[A]
i_{k1TM}	procházející proud na počátku výpočtového kroku	[A]
i_{ISTM}	procházející proud na konci výpočtového kroku	[A]
i_{I1TM}	procházející proud na konci výpočtového kroku	[A]
k_{kw}	konstanta pro převod jednotek	[1]
l_i	délka sklonového úseku i	[m]
L_{i-1}	poloha vlaku na konci předešlého kroku	[km]

l_{obl}	délka oblouku na daném sklonovém úseku	[m]
l_{rk}	délka rozhodného stoupání	[m]
l_{rz}	délka rozhodného stoupání vzatá na zábrzdnu vzdálenost	[m]
l_{tun}	délka tunelu	[m]
m	počet trakčních motorů hnacího vozidla	[1]
M_D	hmotnost dopravovaných vozidel	[t]
M_L	hmotnost lokomotivy	[t]
M_P	průjezdový normativ	[t]
M_R	rozjezdový normativ	[t]
M_T	technický normativ	[t]
MN	manipulační vlak	
M_V	hmotnost vlaku	[t]
NEX	expresní nákladní vlak	
Ns	vlaky nákladní dopravy	
OD	součinitel vozidlového odporu dopravovaných vozidel	[1]
OL	součinitel vozidlového odporu	[1]
OR	součinitel rozjezdového odporu	[1]
Os	vlaky osobní dopravy	
OT	součinitel traťového odporu	[1]
p	počet trakčních motorů zapojených v sériovém spojení	[1]
PB	poloautomatický blok	
PN	průběžný nákladní vlak	
R	poloměr oblouku	[m]
S	smíšené vozy	
s_i	sklon traťového úseku i	[‰]

S_{obl}	přídavný sklon oblouku	[‰]
S_{rk}	rozhodné stoupání	[‰]
S_{rz}	rozhodný spád	[‰]
S_{tun}	přídavný odpor tunelu	[N.kN ⁻¹]
T	dvou nápravové ložené vozy	
T4	čtyř nápravové ložené vozy	
tb	čas brzdění	[s]
TDZ	telefonický způsob zabezpečení	
Tj	jízdní doba	[s]
t _{NAP}	doba napájení elektrických zařízení tažených vozidel	[s]
U	prázdné vozy	
U _{ITM}	napětí připadající na jeden trakční motor	[V]
U _N	napájecí napětí	[V]
V _P	průjezdová rychlost	[km/h]
V _R	rozjezdová rychlost	[km/h]
Δl_i	přírůstek dráhy v i-tém kroku.	[m]
Δt_i	časový přírůstek i-tého kroku	[s]
Δv_i	přírůstek rychlosti	[m/s]
κ	poměrná spotřeba pomocných pohonů	[1]
ρ	součinitel vlivu rotujících hmot	[1]
φ	měrná spotřeba pro napájení	[W.N ⁻¹]

Úvod

Na území České republiky se postupně elektrifikují železniční tratě, ne jenom kvůli ekonomickým důvodům ale také kvůli ekologické stránce využívání elektrické trakce. Dochází ke srovnání spotřeby energie mezi vlaky vedenými elektrickou a motorovou trakcí a vyhodnocení ekonomické stránky dané trakce.

V této práci analyzuji traťový úsek vedený pod označením 302. Jedná se o dvoukolejnou trať v úseku Ostrava Kunčice-Vratimov, úsek Vratimov – Valašské Meziříčí je následně jednokolejný. Tento úsek je zatížen osobní i nákladní přepravou.

Cílem mé práce je analyzovat traťové a provozní podmínky na tomto traťovém úseku. Na základě analýzy provozních podmínek stanovit normativy vybraných typů vlaků. Sestavit redukovaný profil tratě a následně stanovit normativní hmotnosti nákladních vlaků pro vybrané řady elektrických hnacích vozidel. Poté vypočítat parametry pohybu vybraných nákladních vlaků a porovnat výsledky před a po elektrifikaci úseku. Stanovit energetickou náročnost při dopravě těchto vlaků a provést provozně technické vyhodnocení.

1 Historie trati

Železniční trať Ostrava – Valašské Meziříčí měří 72 km. Spojuje dnešní stanice Ostrava hlavní nádraží se stanicí Valašské Meziříčí. Tato trať byla budovaná ve dvou etapách mezi léty 1869–1888. První část trati byla vybudovaná v letech 1869–1870 akciovou společností Císařko-královská privilegovaná Ostravsko-frýdlantská železnice mezi Ostravou a Frýdlantem nad Ostravicí. Tento úsek nesl název Ostravsko-frýdlantská dráha a byl uveden do provozu v roce 1870.

Druhá část trati, mezi Frýdlantem nad Ostravicí a Valašským Meziříčí, byla vybudována roku 1888 jako součást vedlejší větve Severní dráhy císaře Ferdinanda z Kojetína přes Těšín do Bílska.

Po vzniku republiky úsek trati Těšín – Bílsko připadl Polsku. Úsek z Kojetína do Valašského Meziříčí je nyní veden jako samostatná trať pod číslem 303.

V letech 2005 – 2007 probíhala elektrifikace v úseku Ostrava Hlavní nádraží – Ostrava-Kunčice. Od 7. prosince 2007 zde probíhá elektrický provoz, zbývající část tratě Ostrava-Kunčice – Valašské Meziříčí doposud není elektrifikován. Úsek Ostrava-Kunčice – Valašské Meziříčí je kategorizován jako regionální dráha a to od 7. dubna 2014. V roce 2015 probíhala velká modernizace a obnova železničního svršku tratě v úseku Frýdlant nad Ostravicí – Frenštát pod Radhoštěm.¹

2 Charakteristika trati

Celý traťový úsek, tzn. Ostrava – Valašské Meziříčí spravuje SŽDC pod číslem 323. Část úseku je již elektrifikovaná, a to Ostrava hlavní nádraží – Ostrava Kunčice. Celý úsek měří 72 km s maximálním sklonem 17 ‰. Elektrifikovaná část trati je napájena 3 kV stejnosměrným proudem. Centrální komise Ministerstva dopravy ČR schválila modernizaci a elektrifikaci traťového úseku Ostrava-Kunčice – Valašské Meziříčí. Tento úsek je vedený pod č. 302 v sešitovém jízdním řádu. Elektrifikace tohoto úseku by měla zajistit zvýšení přepravní kapacity. Nahrazení motorové trakce elektrickou by měla mít pozitivní vliv nejen na ekonomickou stránku provozu, ale také by měla snížit ekologický dopad provozu na životní prostředí.



Obr. 1 Mapa trati Ostrava hl. n. – Valašské Meziříčí ³

3 Analýza traťových poměrů Ostrava Kunčice – Valašské Meziříčí

Traťové poměry, tzn. kilometrické polohy dopraven na trati, typ traťového zabezpečení, nejvyšší povolená rychlost a normativní délka vlaků. Informace v této kapitole jsem čerpal z grafikonu vlakové dopravy a sešitového jízdního řádu pro trať označenou pod č.302.

Traťový úsek začíná železniční stanicí Ostrava Kunčice v km 7,805 a končí železniční stanicí Valašské Meziříčí v km 61,1. V kilometrické poloze stanice Frýdek-Místek dochází k změně staničení, a to z km 22 na km 111,5. Celý úsek měří necelých 65 km. Trať v úseku Ostrava Kunčice – Vratimov je dvojkolejná, zbytek trati je jednokolejný.

Tab. 1 Kilometrická poloha jednotlivých dopraven a typ traťového zabezpečení

Směr Ostrava Kunčice - Valašské meziříčí		
Název dopraven, vybraných stanovišť a zastávek	Kilometrická poloha	Typ zabezpečení
Ostrava Kunčice	7,805	AB
Vratimov	10,2	PAB
AHr Zaryje	12,3	PAB
Paskov	14,4	PAB
AHr Skalka	16,6	PAB
Lískovec u Frýdku	18,9	PAB
Frýdek-Místek	22=111,5	PAB
Baška	108,3	PAB
Pržno	104,4	PAB
Frydlant n.Ostravicí	101,1	PAB
AHr Čeladná z	96,4	PAB
Kunčice pod Ondřej.	92,8	PAB
Frenštát p.Radhoštem	86,4	PAB
Frenštát p.Rad.m. z	85,2	TZD
Veřovice	78,4	TZD
Mořkov hl.trať nz	73,4	PAB
Hostašovice	69,2	PAB
AHr Krhová	65,9	PAB
Valašské Meziříčí	61,1	PAB

Převážná většina úseku je zabezpečena pomocí poloautomatického bloku s výjimkou úseku Ostrava Kunčice – Vratimov, který je vybaven automatickým blokem a úsekem mezi zastávkou Frenštát p. Rad.m. a žst. Veřovice, který je zabezpečen pomocí telefonického způsobu dorozumívání.

Tento traťový úsek je vybaven standartním rozchodem 1435 mm se zábrzdou vzdáleností 700 m. Normativní délka osobních vlaků dálkové přepravy je 180 m a pro osobní vlaky zastávkové je určena na 170 m. Pro vlaky nákladní dopravy je délka omezena na 498 m v úseku Ostrava Kunčice – Frýdlant nad Ostravicí a na 550 m v úseku Frýdlant nad Ostravicí – Valašské Meziříčí.

Tab. 2 Normativní délka vlaku

Normativní délka vlaku v úseku		
Ostrava-Kunčice	Frýdek-Místek	507 m
Frýdek-Místek	Valašské Meziříčí	498 m
Osobní vlaky dálkové přepravy		180 m
Osobní vlaky zastávkové		170 m

Tab. 3 Délka vlaků nákladní dopravy

Délka vlaků nákladní dopravy v úseku		
Ostrava-Kunčice	Frýdek-Místek	498 m
Frýdek-Místek	Frýdlant n. Ostr.	498 m
Frýdlant n. Ostr.	Frenštát p.Rad.	550 m
Frenštát p.Rad.	Valašské Meziříčí	550 m

Nejvyšší traťové rychlosti můžeme rozdělit podle čtyř úseků. První úsek začíná Ostrava– Kunčice a končí Frýdek-Místek, na tomto úseku je nejvyšší povolená rychlost 80 km/h. Druhý je úsek Frýdek-Místek až Frýdlant nad Ostravicí, v tomto úseku je rychlost také 80 km/h. Třetí úsek Frýdlant nad Ostravicí až Frenštát od Radhoštěm, zde je nejvyšší traťová rychlost 100 km/h. Poslední, čtvrtý úsek Frenštát pod Radhoštěm až Valašské Meziříčí, v této části je nejvyšší povolená rychlost 70 km/h. (viz. Tab. 4)

Tab. 4 Nejvyšší traťová rychlost v daném úseku

Směr Ostrava Kunčice-Valašské Meziříčí		
Úsek trati		Nejvyšší traťová rychlost v úseku
Ostrava-Kunčice	Frýdek-Místek	80 km/h
Frýdek-Místek	Frýdlant n. Ostr.	80 km/h
Frýdlant n. Ostr.	Frenštát p.Rad.	100 km/h
Frenštát p.Rad.	Valašské Meziříčí	70 km/h

3.1 Rychlostní profil trati v jednotlivých směrech

Tab. 5 Nejvyšší traťová rychlost v daném úseku směr Ostrava-Kunčice – Valašské Meziříčí

Směr Ostrava-Kunčice - Valašské Meziříčí		
Poloha na trati (km)	Rychlost HV přechodnosti 3	Maximální rychlost
Ostrava-Kunčice 7,805	80	80
Vratimov 10,2	80	80
10,8	70	80
Paskov 14,4	80	80
15,195	70	75
15,735	70	80
Lískovec u Frýd. 18,9	80	80
19,968	70	70
21,5	40	40
Frýdek-Místek 22=111,5	0	
111,04		80
Baška 108,3		
Pržno 104,4		
104,02		60
103,595		80
101,728		70
Frýdlant n.Ostr 101,1		
100,9		60
100,537		65
100,298		85
99,864		100
96,658		70
96,139		80
95,444		75
95,107		80
94,262		75
93,815		80
Kunčice p.Ondř 92,8		
92,985		70
92,614		75
88,318		80
86,92		65
86,658		60
Frenštát p.Rad 86,4		
85,81		50
85,265		60
Veřovice 78,4		
78,1		70
77,15		60
75,309		70
73,5		60
72,027		70
69,7		60
Hostašovice 69,2		
68,916		70
62,151		60
Valašské Meziříčí 61,1		

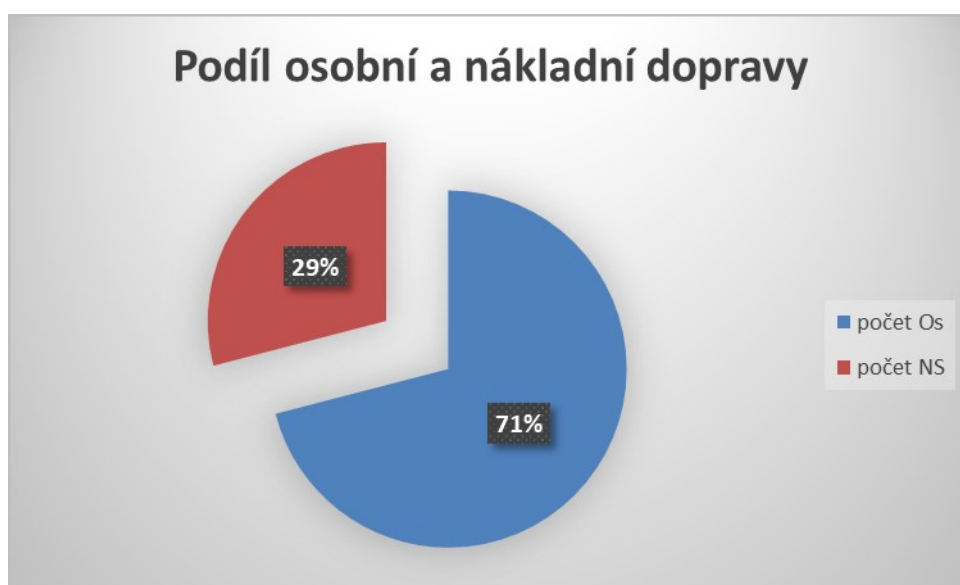
Tab. 6 Nejvyšší traťová rychlost v daném úseku směr Valašské Meziříčí – Ostrava-Kunčice

Směr Valašské Meziříčí-Ostrava-Kunčice		
Poloha na trati (km)	Rychlost HV přechodnosti	Maximální rychlost
Valašské Meziříčí 61,1		60
62,151		70
68,916		60
Hostašovice 69,2		
69,7		70
71,6		60
73,067		70
74,9		60
76,736		70
78,1		60
Veřovice 78,4		
Frenštát p.Rad 86,4		
86,658		65
86,92		80
88,318		75
92,649		70
Kunčice p.Ondř 92,8		
92,985		80
93,815		75
94,262		80
95,107		75
95,444		80
96,139		70
96,658		100
99,59		85
100,298		65
100,537		60
100,9		70
Frýdlant n.Ostr 101,1		
101,728		80
103,595		60
104,02		80
Pržno 104,4		
Baška 108,3		
111,04		40
Frýdek-Místek 22=111,5	40	
21,5	70	70
19,968	80	80
Lískovec u Frýd. 18,9		
15,735	70	75
15,195		80
Paskov 14,4		
13,55	70	80
10,8		80
Vratimov 10,2		
Ostrava-Kunčice 7,805		

4 Analýza provozních poměrů trati Ostrava Kunčice – Valašské Meziříčí

Provozní poměry, tzn. počet dopravovaných vlaků a technické normativy hmotnosti nákladních vlaků. Informace v této kapitole jsem čerpal z grafikonu vlakové dopravy a sešitového jízdního řádu pro trať 302.

Na celé trati Ostrava Kunčice – Valašské Meziříčí jezdí celkem 155 vlaků. Toto číslo můžeme rozdělit na 110 vlaků osobní dopravy a 45 vlaků nákladní dopravy. Z tohoto lze soudit, že osobní doprava na této trati velkou měrou převažuje nad nákladní dopravou.



Graf. 1 Podíl osobní a nákladní dopravy

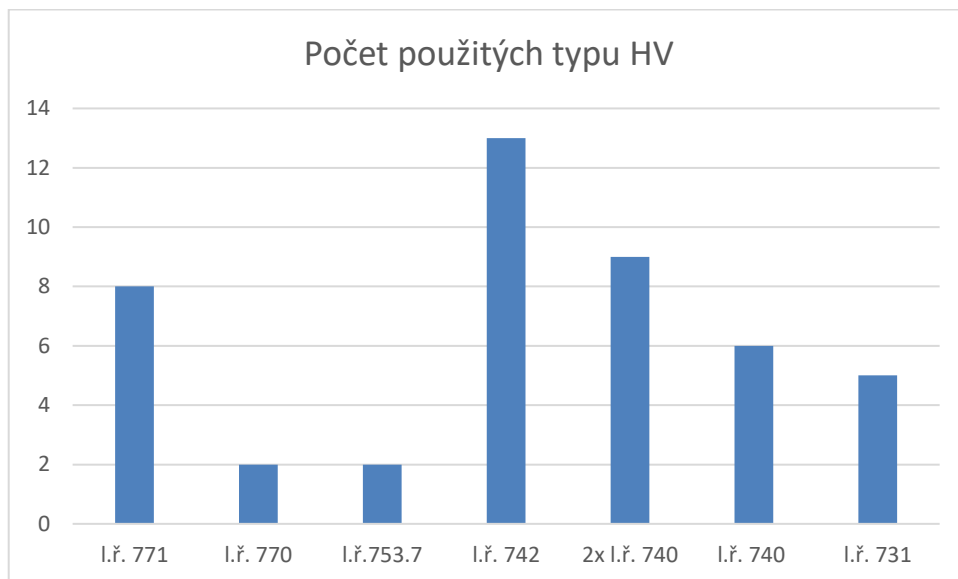
4.1 Osobní doprava na trati

Osobní dopravu v obou směrech zajišťují motorové vozy řady 810, 842 a 843, dále motorové jednotky řady 814 a v neposlední řadě soupravy tažené lokomotivami řady 754.

4.2 Nákladní doprava na trati

Pro tažení nákladní soupravy na této trati v obou směrech jsou použity lokomotivy řady 771, 770, 753.7, 742, 740 a 731. Při přepravě těžších souprav jsou použity dvě spojené lokomotivy řady 740. (viz. Graf. 2)

Vlaky nákladní dopravy dále můžeme dělit na 8 expresních nákladních vlaků (NEX), 14 průběžných nákladních vlaků (PN) a 23 manipulačních vlaků (MN).



Graf. 2 Počet použitých typu HV

4.3 Přehled technických normativů hmotnosti nákladních vlaků.

Technický normativ - maximální hmotnost, kterou jsou schopny jednotlivá hnací vozidla dopravovat na tomto traťovém úseku. Technický normativ jsem čerpal ze sešitového jízdního řádu 302 pro nákladní dopravu.

Tab. 7 Tabulka technických normativů hmotnosti nákladních vlaků pro jednotlivé úseky

Ostrava-Kunčice - Valašské Meziříčí a zpět						
Úsek	Technický normativ hmotnosti pro lokomotivu řady					
	731	740	742	753.7	770/771	2x 740
Ostrava-Kunčice - Paskov	T4 1370	T4 1600	T4 1470	T4 1600	T4 2300	T4 3000
	T 1320	T 1500	T 1420	T 1550	T 2100	T 2900
	S 1300	S 1400	S 1300	S 1500	S 2000	S 2700
	U 1000	U 1150	U 1100	U 1300	U 1400	U 2200
Paskov - Frýdek- Místek	T4 1030	T4 1300	T4 1130	T4 1300	T4 1650	T4 2500
	T 1000	T 1200	T 1100	T 1230	T 1650	T 2300
	S 950	S 1100	S 1050	S 1200	S 1600	S 2100
	U 700	U 900	U 850	U 1000	U 1400	U 1700
Frýdek-Místek - Frýdlant n.Ostravicí	T4 850	T4 1050	T4 1000	T4 1130		T4 2000
	T 810	T 1030	T 950	T 1030		T 1960
	S 800	S 1000	S 900	S 1000		S 1900
	U 350	U 400	U 400	U 500		U 750
Frýdlant n.Ostravicí - Kunčice pod Ondřej.	T4 500	T4 600	T4 550	T4 600		T4 1100
	T 470	T 580	T 530	T 580		T 1060
	S 450	S 550	S 500	S 550		S 1000
	U 350	U 400	U 400	U 500		U 750
Kunčice pod Ondřej. - Frenštát p.Radhoštěm	T4 1300	T4 1450	T4 1380	T4 1450		T4 2800
	T 1280	T 1400	T 1330	T 1400		T 2700
	S 1250	S 1350	S 1300	S 1350		S 2600
	U 350	U 400	U 400	U 500		U 750
Frenštát p.Radhoštěm - Veřovice	T4 540	T4 600	T4 560	T4 650		T4 1100
	T 520	T 580	T 550	T 630		T 1060
	S 500	S 550	S 500	S 570		S 1000
	U 350	U 400	U 400	U 500		U 750
Veřovice - Valašské Meziříčí	T4 1450	T4 1500	T4 1450	T4 1500		T4 2900
	T 1400	T 1450	T 1400	T 1450		T 2800
	S 1350	S 1400	S 1350	S 1400		S 2700
	U 350	U 400	U 400	U 500		U 750
Valašské Meziříčí - Kunčice pod Ondřej.	T4 500	T4 600	T4 540	T4 600		T4 1100
	T 480	T 580	T 520	T 580		T 1060
	S 450	S 550	S 500	S 550		S 1000
	U 350	U 400	U 400	U 500		U 750
Kunčice pod Ondřej. - Frýdlant n.Ostravicí	T4 2300	T4 2300	T4 2300	T4 2300		T4 3000
	T 2200	T 2200	T 2200	T 2200		T 2900
	S 2100	S 2100	S 2100	S 2100		S 2800
	U 350	U 400	U 400	U 500		U 750
Frýdlant n.Ostravicí - Ostrava-Kunčice	T4 2500	T4 2600	T4 2500	T4 2900	T4 2900	T4 3000
	T 2400	T 2500	T 2400	T 2800	T 2800	T 3000
	S 2200	S 2300	S 2200	S 2600	S 2600	S 3000
	U 1800	U 2000	U 2000	U 2100	U 2100	U 2500

Za předpokladu ucelených vlaků, tzn. vlaků které jsou dopravovány přes celý traťový úsek Ostrava-Kunčice – Valašské Meziříčí, bereme nejnížší hodnoty technických normativů z tabulky č.7.

Tab. 8 Tabulka technických normativů hmotnosti nákladních vlaků za předpokladu ucelených vlaků

Ostrava-Kunčice - Valašské Meziříčí a zpět						
Úsek	Technický normativ hmotnosti pro lokomotivu řady					
	731	740	742	753.7	770/771	2x 740
Ostrava-Kunčice - Valašské Meziříčí	T4 500	T4 600	T4 550	T4 600		T4 1100
	T 470	T 580	T 530	T 580		T 1060
	S 450	S 550	S 500	S 550		S 1000
	U 350	U 400	U 400	U 500		U 750
Valašské Meziříčí - Ostrava- Kunčice	T4 500	T4 600	T4 540	T4 600		T4 1100
	T 480	T 580	T 520	T 580		T 1060
	S 450	S 550	S 500	S 550		S 1000
	U 350	U 400	U 400	U 500		U 750

5 Popis vybraných elektrických lokomotiv

Pro následující výpočty jsem po konzultaci s vedoucím práce vybral elektrická hnací vozidla E 499.3 pod novým označením 163 a E 479.0 pod novým označením 130. Tyto vozidla jsou často využívána pro dopravování nákladních vlaků na území České republiky.

5.1 Popis elektrické lokomotivy E 499.3 (163) ⁴

Lokomotivy řady E 499.3 (163) byly konstruovány jako univerzální stroje, určené pro osobní a nákladní dopravu. Postupně nahradily lokomotivy řady E 499.0 (140) a E 499.1 (141).

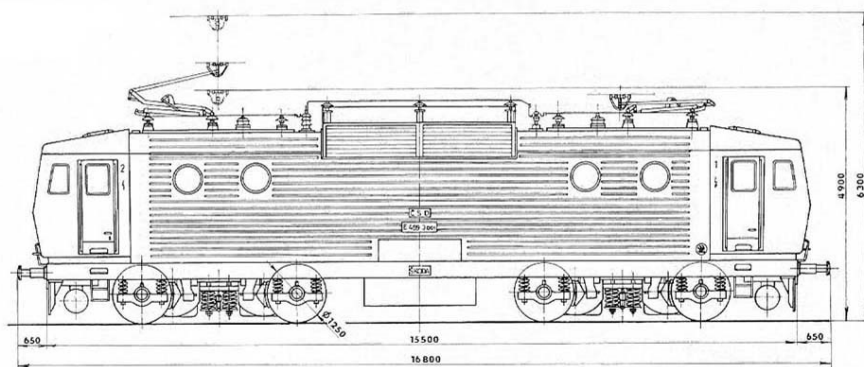
Jedná se o univerzální traťovou lokomotivu pro stejnosměrnou napájecí soustavu 3kV vyráběnou v letech 1984 - 1986 pod továrním označením 71E a v letech 1991-1992 pod označením 99E plzeňskou firmou Škoda a společností ČKD polovodiče. Lokomotiva je vybavena pulzní regulací výkonu. Regulace výkonu je bezkontaktní, plynulá závislá na poměrném otevření pulzních měničů. Pulzní měniče jsou složeny z tyristorů, diod a dalších prvků a jsou řízeny elektronickým analogovým regulátorem. Lokomotiva je schopna dosáhnout rychlosti až 120 km/h při trvalém výkonu 3480 kW. Jedná se o čtyřnápravovou lokomotivu s uspořádáním podvozku typu Bo'Bo'. Tento podvozek je navržen na rychlost až 200 km/h a je vybaven dvoustupňovým vypružením pomocí vinutých ocelových pružin. Dále je vybavena dvěma polo pantografovými sběrači.



Obr. 2 Elektrické HV E 499.3 (163) ⁴

Lokomotivy řady E 499.3 (163) jsou skříňového uspořádání. Hlavní rám se skládá ze svařovaných ocelových profilů. Ve spodní části obou čel jsou umístěna tažná a narážecí

ústrojí. Samotná kostra skříně je ocelová s podélnými prolisy pro zvýšení tuhosti. Na obou čelech se nachází stanoviště strojvedoucího, které jsou klimatizovány. Pod dvěma čelními okny se nalézá hlavní reflektor, dvojice pozičních světel jsou umístěny ve spodní části nad nárazníky. Strojovna se nachází mezi stanovišti strojvedoucího v prostřední části. Do strojovny lze vstoupit z obou stanovišť pouze tehdy, když jsou staženy sběrače. V dutinách kostry je umístěno osm písokojemů o celkové kapacitě 1500 kilogramů písku. Písek se dosypává střešními otvory.

Obr. 3 Typový výkres lokomotivy E 499.3 (163)⁴Tab. 9 Technické údaje HV E 499.3 (163)⁴

Technické údaje	
Výrobce	ŠKODA Plzeň
Tovární označení	71 E 1-3 / 99 E 1 ¹ [98 E 1]
Roky výroby	1984-92 [1991]
Vyrobena ks	120 [60]
Rozchod	1 435 mm
Uspořádání pojezdu	Bo'Bo'
Trakční systém	3 kV=
Délka přes nárazníky	16 800 mm
Délka skříně	15 500 mm
Šířka	2 940 mm
Výška se staženými sběrači	4 640 / 4 595 ¹ [4 595] mm
Pevný rozvor	3 200 mm
Celkový rozvor	11 500 mm
Vzdálenost otočných čepů	8 300 mm
Minimální poloměr oblouku	120 m
Služební hmotnost	84 [84,5] t
Max. hmotnost na nápravu	21,4 t
Průměr nových dvojkolí	1 250 mm
Průměr opotřeбенých dvojkolí	1 180 mm
Nápravový převod	1:3,522 [1:3,038]
Výkon / přetlak kompresoru	120 m ³ /h / 10 bar
Regulace výkonu	pulzní
Typ trakčních motorů	AI 4542 FIR [1 AI 4542 FIR]
Trvalý proud TM	715 A
Hodinový proud TM	750 A
Jm. napětí na svorkách TM	1 300 V
Trvalá tažná síla	177 [160] kN
Maximální tažná síla	285 / 300 ¹ [258] kN
Trvalý výkon	3 480 kW
Trvalý výkon EDB	3 000 kW
Trvalá rychlost	70,8 [78,3] km/h
Maximální rychlost	120 [140] km/h
Údaje v hranatých závorkách platí pro řadu 162	
1 ... inventární čísla 061 až 120	

Dostatek vzduchu pro lokomotivu zajišťují dva hlavní kompresory typu 3 DSK 100. Pohon kompresorů je zajištěn přes klínové řemeny pomocí stejnosměrných elektromotorů, které jsou napájeny ze sekundárních pulzních měničů. Kompresory se spínají ručně nebo automaticky podle volby strojvedoucího. Dále je lokomotiva vybavena pomocným kompresorem, jehož pohon je napájen z baterie. Za smetadly jsou umístěny dva hlavní vzduchojemy o objemu 900 l (tlak 10 barů), sloužící pro pneumatickou brzdu. Pomocný vzduchojem se nachází ve strojovně o objemu 150 l pro pneumatickou brzdu. Pro potřeby pneumaticky ovládané přístroje se zde nachází další vzduchojemy.

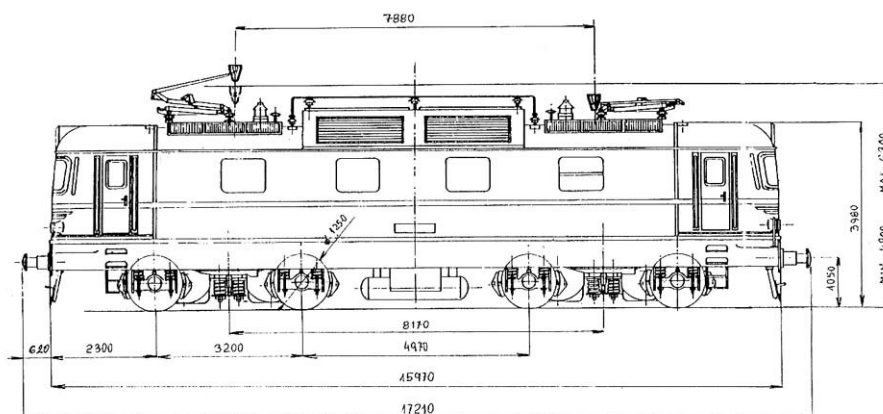
Lokomotiva je vystrojena mechanickou ruční brzdou, samočinnou tlakovou brzdou, přímočinnou brzdou a výkonnou elektrodynamickou brzdou. Ruční brzda je ovládána ze stanovišť ručními vratidly. Vždy působí na obě dvojkolí podvozku pod stanovištěm, odkud je brzda utahována. Samočinná tlaková brzda je soustavy DAKO DK-GP (nákladní/osobní). Je řízena elektricky ovládaným brzdičem DAKO BSE, který se nachází ve strojovně a řízeným dvěma ovladači DAKO OBE1. Přímochinná brzda je ovládána dvěma brzdiči DAKO BP. Brzdový rozváděč je typu DAKO LTR - jedná se o lokomotivní rozváděč s tlakovými relé.

5.2 Popis elektrické lokomotivy E 479.0 (130) ⁵

Lokomotiva řady E 479.0 (130) je univerzální hnací vozidlo skříňového typu se dvěma stanovišti strojvedoucího, která jsou přístupná z obou dvou stran. Strojovna se nachází mezi těmito stanovišti. Skříň se svým designem patří k I. generaci lokomotiv Škoda. Lokomotiva byla vyráběná v roce 1977 plzeňskou firmou Škoda. Tato lokomotiva tvoří jakýsi mezistupeň mezi I. a II. generací. K I. generaci ji řadí starší odporová regulace výkonu. Tyto lokomotivy konstrukčně navazují na řadu 125.8. Provedení tažného ústrojí odpovídá traťovým lokomotivám II. generace. Rám skříňe je umístěn pomocí čepů pevně v podvozku. Jedná se o čtyřnápravovou lokomotivu typu Bo'Bo'. Podvozky jsou taktéž II. generace s dvoustupňovým vypružením. Skříň je uložena na vinutých ocelových pružnicích sekundárního vypružení, které jsou doplněny o hydraulické tlumiče ve svislém i příčném směru. Primární vypružení také zajišťuje vinuté vypružení pomocí pružin. Na jedno dvojkolí jsou použity celkem čtyři pružiny. V rámu každého z podvozků jsou pevně uloženy trakční motory s kloubovou spojkou Škoda, pohánějící dvojkolí soukolím s čelním ozubením.

Obr. 4 Elektrické HV řady E 479.0 (130) ⁵

Brzdovou soustavu tvoří ruční brzda, samočinná tlaková brzda systému DAKO DK-GP a přímočinná brzda. Ruční brzda působí na jedno dvojkolí přilehlého podvozku. Samočinná tlaková brzda je řízena dvěma brzdiči DAKO BS2, přímočinnou brzdu řídí dva brzdiče DAKO BP. Zdrojem tlakového vzduchu je dvojice elektricky poháněných šroubových kompresorů 3 DSK 100. Lokomotiva má dva hlavní vzduchojemy o objemu celkem 1 100 l ($p = 10$ bar) a dva pomocné vzduchojemy o celkovém objemu 240 l. Písty osmi brzdových válců o průměru 8" jsou spřaženy s brzdovými špalíky, brzdícími všechna čtyři dvojkolí oboustranně. Zásoba písku činí 320 kg.

Obr. 5 Typový výkres HV E 479.0 (130) ⁵

Tab. 10 Technické údaje HV E 479.0 (130)⁵

Technické údaje	
Výrobce	ŠKODA Plzeň
Tovární označení	79 E 1
Rok výroby	1977
Vyrobeno ks	54
Rozchod	1 435 mm
Uspořádání pojezdu	Bo'Bo'
Trakční systém	3 kV=
Délka přes nárazníky	17 210 mm
Délka skříně	15 970 mm
Šířka	2 940 mm
Výška se staženými sběrači	4 640 mm
Pevný rozvor	3 200 mm
Celkový rozvor	11 370 mm
Vzdálenost otočných čepů	8 170 mm
Minimální poloměr oblouku	120 m
Služební hmotnost	84,8 t
Max. hmotnost na nápravu	21,2 t
Průměr nových dvojkolí	1 250 mm
Průměr opotřeбенých dvojkolí	1 180 mm
Nápravový převod	1:2,89
Výkon / přetlak kompresoru	120 m ³ /h / 10 bar
Regulace výkonu	odporová
Typ trakčních motorů	8 AL 4846 zT
Trvalý proud TM	365 A
Hodinový proud TM	420 A
Jmen. napětí na svorkách TM	3 000/2 V
Trvalá tažná síla	147 kN
Hodinová tažná síla	179 kN
Maximální tažná síla	228 kN
Trvalý výkon	2 040 kW
Hodinový výkon	2 340 kW
Trvalá rychlost	49,9 km/h
Hodinová rychlost	47,1 km/h
Maximální rychlost	100 km/h

Na lokomotivě byly použity nové polopantografové sběrače, které jsou typické pro lokomotivy Škoda druhé generace. Tato lokomotiva je koncipovaná jako odporňiková, ale s použitím modernějších konstrukcí. Byly použity fechralové odporňiky umožňující libovolně dlouhou dobu jízdy na jednom stupni. Odporňiky jsou uloženy v odporové skříně uprostřed horní části lokomotivy. Řazení jízdních stupňů, tj. vyřazování jízdních stupňů, řazení trakčních motorů a šuntování, provádí hlavní kontrolér s individuálně spínanými elektropneumatickými stykači. Hlavní kontrolér je ovládán kruhovým řídícím kontrolérem ze stanoviště strojvedoucího. Trakční motory jsou stejnosměrné sériové šestipólové stroje, vycházející z elektromotorů I. generace, ale patřičně zmodernizované. Řazení trakčních motorů je sériové a sérioparalelní. Palubní síť má napětí 48 V. Lokomotivy jsou vybaveny mnohočlenným řízením, umožňujícím vedení až čtyř spřažených lokomotiv jediným strojvedoucím. Novinkou bylo použití diagnostického systému.

6 Úprava profilu pro vozební výpočty ²

Při jízdě železničního vozidla musíme překonávat síly působící proti pohybu vozidla, které nazýváme odpory. Mezi tyto odpory patří také traťové odpory.

Traťové odpory jsou dané vlivem stavebního uspořádání tratě. Pro usnadnění výpočtů se upravuje profil trati redukcí a zjednodušením. Redukování je započítání přídavného sklonu z oblouku a přídavného odporu tunelu ke sklonu tratě.

Pro redukcí platí vztah:

$$s_r = \frac{s_i \cdot l_i + \sum s_{obl} \cdot l_{obl} + \sum s_{tun} \cdot l_{tun}}{l_{si}} [\text{‰}] \quad (1)$$

Kde:

$s_i [\text{‰}]$	sklon traťového úseku i
$l_i [\text{m}]$	délka sklonového úseku i
$s_{obl} [\text{‰}]$	přídavný sklon oblouku
$l_{obl} [\text{m}]$	délka oblouku na daném sklonovém úseku
$s_{tun} [\text{N} \cdot \text{kN}^{-1}]$	přídavný odpor tunelu
$l_{tun} [\text{m}]$	délka tunelu

Přídavný odpor oblouku pro konvekční tratě o rozchodu $e = 1435 \text{ mm}$ se počítá podle empirického vztahu:

$$s_{obl} = \frac{600}{R} [\text{‰}] \quad (2)$$

Kde:

R	$[\text{m}]$	poloměr oblouku
-----	--------------	-----------------

Velká část oblouku na trati se skládá také z tzv. přechodnic, což je křivka o proměnné křivosti umožňující plynulý přechod na trati mezi obloukem a přímým úsekem. V praxi se pro výpočet redukovaného profilu trati započítává polovina délky přechodnice do délky oblouku a druhá polovina se přičítá do délky přímého úseku. Pro zjednodušení práce s podklady od SŽDC jsem započítal celou délku přechodnice do přímého úseku.

Přídavný odpor tunelu, který je způsoben zvýšeným odporem vzduchu při průjezdu vlaku tunelem v důsledku vytlačování sloupce vzduchu a jeho vířením kolem vlaku. Přídavný odpor tunel pro železniční trať má empirické hodnoty:

Jednokolejný tunel

$$s_{tun} = 2 \text{ ‰}$$

Dvojkolejný tunel

$$s_{tun} = 1 \text{ ‰}$$

Přídavný odpor tunelu do redukce v žádném sklonovém úseku nezapočítáváme, protože se na trati Ostrava Kunčice-Valašské Meziříčí žádný tunel nenachází.

Vzorový výpočet redukovaného sklonu směr Ostrava Kunčice-Valašské Meziříčí:

Provedený vzorový výpočet redukovaného sklonu pro 28 sklonový úsek.

Na sklonovém úseku $i = 28$ se nacházejí dva oblouky s poloměrem $R_1 = 1600 \text{ m}$, $R_2 = 450 \text{ m}$. Přídavné odpory oblouku podle vztahu (2):

$$s_{obl1} = \frac{600}{R} = \frac{600}{1600} = 0,375 \text{ ‰}$$

$$s_{obl2} = \frac{600}{R} = \frac{600}{450} = 1,33 \text{ ‰}$$

$$s_{28} = 2,5 \text{ ‰}$$

$$l_{28} = 845 \text{ m}$$

Výsledná hodnota s_r na sklonovém úseku $i = 28$ podle vztahu (1):

$$s_r = \frac{2,5 \cdot 845 + 0,375 \cdot 12,08 + 1,33 \cdot 115,49}{845} = 2,69 \text{ ‰}$$

Tab. 11 Tabulka redukovaného profilu pro 28 až 38 úsek (viz. Příloha I)

Směr Ostrava Kunčice-Valašské Meziříčí											
i	k	$s_i \text{ [‰]}$	$l_i \text{ [m]}$	$R \text{ [m]}$	$l_{obl} \text{ [m]}$	$s_{obl} \text{ [‰]}$	$R \text{ [m]}$	$l_{obl} \text{ [m]}$	$s_{obl} \text{ [‰]}$	$s_{obl} \text{ [‰]}$	$s_r \text{ [‰]}$
28	21, 22	2,5	845	1600	12,08	0,375	450	115,49	1,333	0	2,69
29	23	4,25	594	470	111,8	1,277			0	0	4,49
30	24	5,72	200	1605	18,04	0,374			0	0	5,75
31	24, 25	0,17	135	1605	23,55	0,374	1605	74,78	0,374	0	0,44
32		1,5	119			0			0	0	1,50
33		3,4	301			0			0	0	3,40
34		3,3	375			0			0	0	3,30
35		3,6	125			0			0	0	3,60
36		3,36	1			0			0	0	3,36
37		0	157			0			0	0	0,00
38	26	4,6	109	1850	50,99	0,324			0	0	4,75

6.1 Rozhodné stoupání

Rozhodné stoupání s_{rk} je největší průměrná hodnota redukovaného stoupání na trati vztažená na délku l_{rk} . Délka l_{rk} stanovená pro určení rozhodného stoupání s_{rk} se uvádí maximálně 1000 m.

Pro rozhodné stoupání platí vztah:

$$s_{rk} = \frac{s_{r1} \cdot l_1 + \dots + s_{rn} \cdot l_n + s_m \cdot (1000 - \sum_{i=1}^n l_i)}{1000} [\text{‰}] \quad (3)$$

Vzorový výpočet rozhodného stoupání pro krok i = 29, směr Ostrava Kunčice-Valašské Meziříčí.

Výpočet podle vztahu (3) se skládá ze tří po sobě jdoucích úseků, kde je jejich hodnota redukovaného sklonu s_r násobená jednotlivou délkou těchto úseků. Suma délek těchto úseků musí být menší než 1000 m. Délky těchto úseků jsou $l_1 = 594$ m, $l_2 = 200$ m, a $l_3 = 135$ m.

$$s_{rk} = \frac{4,49 \cdot 594 + 5,75 \cdot 200 + 0,44 \cdot 135 + 1,5 \cdot (1000 - 594 - 200 - 135)}{1000} = 3,98 \text{ ‰}$$

Tab. 12 Vypočtené rozhodné stoupání v obou směrech trati (viz. Příloha I)

Ostrava Kunčice-Valašské Meziříčí	Valašské Meziříčí-Ostrava Kunčice
s_{rk} [‰]	s_{rk} [‰]
16,46	16,28

6.2 Rozhodný spád

Rozhodný spád s_{rz} je nejmenší hodnota spádu vztažená na délku l_{rz} , přičemž nebereme v úvahu odpor oblouků a tunelů. Délka l_{rz} pro určení rozhodného spádu s_{rz} se uvádí zábrzdna vzdálenost. Na této trati je zábrzdna vzdálenost, tedy l_{rz} , rovná 700 m.

Pro rozhodný spád platí vztah:

$$s_{rz} = \frac{s_1 \cdot l_1 + \dots + s_n \cdot l_n + s_m \cdot (700 - \sum_{i=1}^n l_i)}{700} [\text{‰}] \quad (4)$$

Vzorový výpočet rozhodného spádu pro krok i = 29, směr Ostrava Kunčice-Valašské Meziříčí.

Výpočet rozhodného stoupání podle vztahu (4):

$$s_{rz} = \frac{4,25 \cdot 594 + 5,72 \cdot (700 - 594)}{700} = 4,47 \text{ ‰}$$

Tab. 13 Vypočtený rozhodný spád v obou směrech trati (viz. Příloha I)

Ostrava Kunčice-Valašské Meziříčí	Valašské Meziříčí-Ostrava Kunčice
s_{rz} [‰]	s_{rz} [‰]
-16,20	-16,22

7 Stanovení normativů hmotnosti nákladních vlaků pro vybrané řady elektrických hnacích vozidel pro daný úsek. ²

Tato kapitola se zabývá postupem stanovení technického normativu pro vybrané řady lokomotiv. Tento normativ je důležitý pro další výpočty.

7.1 Základní kategorie hmotností

- Dopravní hmotnost – je celková hmotnost všech dopravovaných vozidel M_D [t]
- Hmotnost vozidla – součet hmotností prázdného vozidla, nákladu a provozních hmot M_V [t]
- Technický normativ hmotnosti – dopravní hmotnost, pro kterou byly stanoveny pravidelné jízdní doby podle vozidlových odporů a typu hnacího vozidla
- Rozjezdový normativ hmotnosti – normativ hmotnosti pro určitou řadu hnacích vozidel, účinný při rozjezdu vlaku v určitém úseku nebo místě M_R [t]
- Průjezdový normativ hmotnosti – normativ dopravní hmotnosti vlaku pro určitou řadu hnacího vozidla, platný pro průjezd daným úsekem nebo místem bez zastavení nebo bez omezení rychlosti pod stanovenou hodnot M_P [t]

7.2 Výpočet technického normativu M_T

Postup výpočtu je následující, nejprve se určí částečné normativy a z těchto jednotlivých normativů posléze vybereme nejmenší z hmotností. Tato hmotnost bude reprezentovat technický normativ, který bude hnací vozidlo schopno dopravit na daném úseku.

Pro praktické stanovení normativu použijeme vztah:

$$M_T = \min(M_R, M_P) \text{ [t]} \quad (5)$$

Kde:

M_R [t] rozjezdový normativ

M_P [t] průjezdový normativ

7.3 Rozjezdový normativ hmotnosti

Stanovení rozjezdového normativu vychází z pohybové rovnice vlaku, upravenou pro stanovení hmotnosti:

$$F_{spR} - G_D \cdot o_D - G_L \cdot o_T - G_D \cdot o_T = 0 \quad (6)$$

Kde:

F_{spR} [N]	tažná síla na spřáhle pro rozjezd
G_L [N]	tíha hnacího vozidla
G_D [N]	tíha dopravovaných vozidel
o_D [-]	součinitel vozidlového odporu dopravovaných vozidel
o_T [-]	součinitel traťového odporu

Tíha hnacího vozidla

Tíhu lokomotivy vypočteme ze vztahu:

$$G_L = M_L \cdot g \cdot 1000 \text{ [N]} \quad (7)$$

Kde:

M_L [t] hmotnost lokomotivy

Tíha tažených vozidel

Výpočet tíhy tažených vozidel G_D :

$$G_D = M_D \cdot g \cdot 1000 \text{ [N]} \quad (8)$$

Kde:

M_D [t] hmotnost tažených vozidel

Vozidlový odpor

$$O_{L,D} = G_{L,D} \cdot (a + b \cdot V + c \cdot V^2) \text{ [N]} \quad (9)$$

Kde:

a, b, c [1] koeficienty součinitelů vozidlových odporů

V [km/h] okamžitá rychlost

Pro výpočet hmotnosti můžeme odvodit vztah:

$$M_R = \frac{F_{spR} - G_L \cdot o_T}{o_D + o_T + o_R} \cdot \frac{10^{-3}}{g} \text{ [t]} \quad (10)$$

Kde:

$F_{spR} [N]$	tažná síla na spřáhle pro rozjezd. Tuto sílu volíme jako adhezní tažnou sílu při maximálním výkonu vozidla u vozidel nezávislé vozby nebo u závislé vozby s plynulou regulací. U vozidel závislé vozby se stupňovitou odporovou regulací se volí tažná síla na mezi adheze na prvním hospodárném stupni.
$o_T [-]$	součinitel traťového odporu, použije se hodnota pro rozhodné stoupání na daném traťovém s_{rz}
$o_D [-]$	součinitel vozidlového odporu. Jeho hodnotu určuje rychlost, pro kterou byla stanovena F_{spR}
$o_R [-]$	součinitel rozjezdového odporu, podle literatury je jeho hodnota $o_R = 0,0015$

Z trakční charakteristiky pro dané vozidlo vyčteme tažnou sílu na obvodu kol F_o , pro výpočet musíme tažnou sílu na spřáhle dopočítat. Získáme ji tak, že od hnací síle na obvodu odečteme jízdní odpory hnacího vozidla při rozjezdové rychlosti.

$$F_{spR} = F_{OR} - G_L \cdot o_L [N] \quad (11)$$

Kde:

$F_{OR} [N]$	tažná síla na obvodu kol pro rozjezd
$G_L [N]$	tíha hnacího vozidla
$o_L [N]$	součinitel vozidlového odporu

7.4 Průjezdový normativ hmotnosti

Tento normativ se stanovuje pro průjezd rozhodujícím úsekem tratě pro stanovenou průjezdovou rychlost. Výpočet vychází z rovnice pohybu vlaku. Pak tento normativ stanovíme:

$$M_P = \frac{F_{spP} - G_L \cdot o_T}{o_D + o_T} \cdot \frac{10^{-3}}{g} [t] \quad (12)$$

Kde:

$F_{spP} [N]$	tažná síla na spřáhle, určená pro stanovenou rychlost Průjezdovou rychlost V_P pro stanovení F_{spP} je stanovena jako rychlost,
---------------	---

kteřá je větší než trvalá rychlost na nejvyšším výkonovém stupni, minimálně však $V_p=20 \text{ km.h}^{-1}$. Hodnotu F_{spP} opět stanovíme dopočítáním podobně jako u F_{spR} .

Ukázkový výpočet pro stanovení technického normativu pro vozidlo E 479.0 ve směru Ostrava-Kunčice – Valašské Meziříčí.

Nejprve stanovíme tíhu hnacího vozidla podle vztahu (7):

$$G_L = M_L \cdot g \cdot 10^3 = 86 \cdot 9,81 \cdot 10^3 = 843660 \text{ N}$$

Následně z trakční charakteristiky vyčteme, že tažná síla na obvodu kol pro rozjezd je $F_{OR}=203 \text{ kN}$ s rozjezdovou rychlostí $V_R=22 \text{ km/h}$. Pro průjezdovou rychlost $V_P=50 \text{ km/h}$ je tažná síla na obvodu kol $F_{OP}=144 \text{ kN}$.

Výpočet normativů podle vztahu (10) a (12):

$$M_R = \frac{F_{spR} - G_L \cdot o_T}{o_D + o_T + o_R} \cdot \frac{10^{-3}}{g} = \frac{200258,4 - 843660 \cdot 0,01646}{0,00147 + 0,01646 + 0,0015} \cdot \frac{10^{-3}}{9,81} = 977,54 \text{ t}$$

$$M_P = \frac{F_{spP} - G_L \cdot o_T}{o_D + o_T} \cdot \frac{10^{-3}}{g} = \frac{139845 - 843660 \cdot 0,01646}{0,00147 + 0,01646} \cdot \frac{10^{-3}}{9,81} = 690,86 \text{ t}$$

Normativy zaokrouhlíme na nejbližší nižší celé číslo a poté můžeme stanovit technický normativ M_T .

Výsledný technický normativ M_T :

$$M_T = \min(M_R, M_P) = \min(977,690) = 690 \text{ t}$$

Hnací vozidlo E 479.0 (130) dokáže na úseku Ostrava Kunčice – Valašské Meziříčí dopravit vozidla o celkové hmotnosti 690t.

Tab. 14 Tabulka technických normativů pro daná hnací vozidla v obou směrech traťového úseku (viz. Příloha I)

	Ostrava Kunčice-Valašské Meziříčí	Valašské Meziříčí-Ostrava Kunčice
	M_T [t]	M_T [t]
Lokomotiva E 479.0	690	698
Lokomotiva E 4993	767	775

8 Výpočet parametrů pohybu vybraných nákladních vlaků a jejich porovnání před a po elektrifikaci úseku ²

Při zkoumání jízdy kolejových vozidel zjišťujeme tři základní charakteristické parametry jejich pohybu. A to sice:

- a) Průběh rychlosti vozidel - tzv. tachogram
- b) Jízdní dobu
- c) Spotřebu energie

8.1 Tachogram

Tachogram nám představuje závislost rychlosti vozidla na nezávislém parametru. Tímto parametrem může být ujetá dráha nebo jim je čas. Poté můžeme tachogram dělit na:

- a) Dráhový tachogram $V=f(L)$
- b) Časový tachogram neboli hodogram $V=f(T)$

8.2 Konstrukce tachogramu

Při konstrukci tachogramu vycházíme ze základní rovnice pohybu vlaku, kterou si upravíme pro základní situace. A to sice na jízdu silou, jízdu výběhem, jízdu konstantní rychlostí, udržování rychlosti brzděním režimem a brždění. Pro použití této výpočtové metody musíme znát parametry tažených vozidel (váhu, součinitel odporů), úplnou trakční charakteristiku HV a náhradní profil tratě s_r .

Základní pohybová rovnice vlaku:

$$F_0 - O_L - O_D - O_T - O_z = 0 \quad (13)$$

Dále můžeme rozepsat jednotlivé odpory a předchozí rovnici upravit do tvaru:

$$F_0 - G_L \cdot o_L - G_D \cdot o_D - (G_L + G_D) \cdot o_T - (G_L + G_D) \cdot o_{zr} = 0 \quad (14)$$

Jako poslední úpravu rozepíšeme odpor ze zrychlení a napíšeme ho na pravou stranu rovnice:

$$F_0 - G_L \cdot o_L - G_D \cdot o_D - (G_L + G_D) \cdot o_T = (G_L + G_D) \cdot \frac{(1+\rho)}{g} \cdot \frac{dv}{dt} [N] \quad (15)$$

Kde:

F_o [N]	tažná síla na obvodu kol
G_L [N]	tíha hnacího vozidla
G_D [N]	tíha tažených vozidel
o_L [1]	součinitel vozidlového odporu hnacích vozidel
o_D [1]	součinitel vozidlového odporu tažených vozidel
o_T [1]	součinitel odporu trati
v [m.s ⁻¹]	rychlost
t [s]	čas
ρ [1]	součinitel vlivu rotujících hmot

8.3 Jízda silou – tažná síla na obvodu kol $F_o > 0$ N

Při jízdě silou uvažujeme, že tažná síla na obvodu kol F_o je konstantní po stanovený čas Δt jednoho výpočtového kroku. Poté pomocí základní rovnice pohybu vlaku dopočteme přírůstek rychlosti a polohu vlaku na konci daného výpočtového kroku.

$$F_o - G_L \cdot o_L - G_D \cdot o_D - (G_L + G_D) \cdot o_T = (G_L + G_D) \cdot \frac{(1+\rho)}{g} \cdot \frac{dv}{dt} [N] \quad (16)$$

Přírůstku rychlosti Δv pro jízdu silou:

$$\Delta v = \frac{g}{(1+\rho)} \cdot \frac{F_{oi} - G_L \cdot o_{Li} - G_D \cdot o_{Di} - (G_L + G_D) \cdot o_{Ti}}{G_L + G_D} \cdot \Delta t_i \cdot 3,6 [km \cdot h^{-1}] \quad (17)$$

Kde:

F_{oi} [N]	tažná síla na obvodu kol
o_{Li} [1]	střední hodnota součinitele vozidlového odporu hnacích vozidel pro časový interval Δt
o_{Di} [1]	střední hodnota součinitele vozidlového odporu tažených vozidel pro časový interval Δt
Δt_i [s]	časový přírůstek i-tého kroku.

Rychlost na konci i-tého kroku pro jízdu silou $F_o > 0$ N

Rychlost na konci i-tého kroku V_i vypočteme ze vztahu:

$$V_i = V_{i-1} + 3,6 \cdot \Delta v_i [km/hod] \quad (18)$$

Kde:

V_{i-1} [km/hod] rychlost na konci předešlého kroku

Δv_i [m/s] přírůstek rychlosti

Přírůstek dráhy v i-tém kroku pro jízdu silou $F_o > 0$ N

Přírůstek dráhy Δl_i vypočteme ze vztahu:

$$\Delta l_i = \frac{v_i + v_{i-1}}{2} \cdot \Delta t_i [m] \quad (19)$$

Kde:

v_i [m/s] rychlost na konci i-tého kroku

v_{i-1} [m/s] rychlost na konci předešlého kroku

Δt_i [s] časový přírůstek i-tém kroku.

Poloha vlaku na konci výpočtového kroku pro jízdu silou $F_o > 0$ N

Polohu vlaku na konci výpočtového kroku L_i vypočteme ze vztahu:

$$L_i = L_{i-1} + \frac{\Delta l_i}{1000} [km] \quad (20)$$

Kde:

L_{i-1} [km] poloha vlaku na konci předešlého kroku

Δl_i [m] přírůstek dráhy v i-tém kroku.

8.4 Jízda výběhem – tažná síla na obvodu kol $F_o = 0$ N**Přírůstek rychlosti pro jízdu výběhem $F_o = 0$ N**

Přírůstek rychlosti Δv_i ze základní pohybové rovnice pro jízdu výběhem vypočteme ze vztahu:

$$\Delta v_i = -1 \cdot \frac{g}{(1+\rho)} \cdot \frac{G_L \cdot \overline{o_L} + G_D \cdot \overline{o_D} + (G_L + G_D) \cdot o_T}{G_L + G_D} \cdot \Delta t_i [m/s] \quad (21)$$

Kde:

$o_L [1]$ je střední hodnota součinitele vozidlového odporu hnacích vozidel pro časový interval Δt

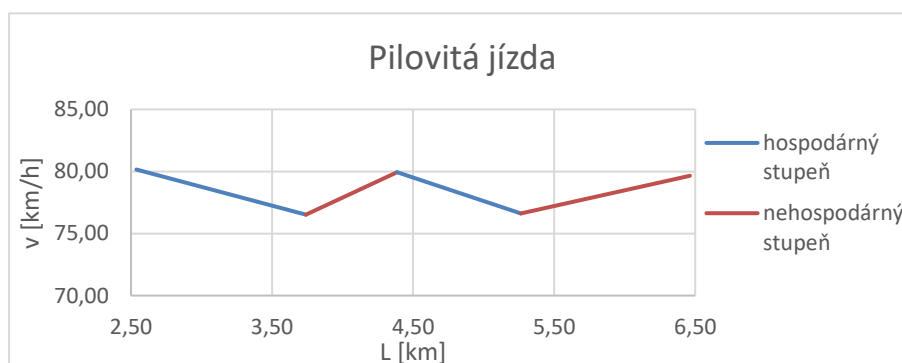
$o_D [1]$ je střední hodnota součinitele vozidlového odporu tažených vozidel pro časový interval Δt

$\Delta t_i [s]$ je časový přírůstek i-tého kroku.

Rychlost na konci i-tého kroku, přírůstek dráhy a poloha vlaku se vypočítá stejným způsobem jako u jízdy silou.

Jízda rychlostí blízké rychlosti maximální, odporová regulace

V případě odporové regulace nejsme schopni udržovat konstantní rychlost. Využívá se tedy tzv. pilovitá jízda. Postup je následovný: v momentě, kdy vlak dosáhne rychlosti blízké rychlosti maximální podřadí se na nejbližší hospodárny stupeň, do doby, než rychlost klesne na určitou mez. Poté se opět použije nehospodárny stupeň na dobu, než vlak opět dosáhne rychlosti blízké rychlosti maximální.



Graf. 3 Ukázka jízdy rychlosti blízké k rychlosti maximální (viz. Příloha I)

8.5 Jízda konstantní rychlostí $V=\text{konst}$, plynulá regulace

U hnacích vozidel s plynulou regulací jsme schopni udržovat konstantní rychlost.

Tažná síla pro jízdu konstantní rychlostí $V=\text{konst}$.

Tažnou sílu vypočteme ze vztahu:

$$\overline{F_o} = G_L \cdot \overline{o_l} + G_D \cdot \overline{o_D} + (G_L + G_D) \cdot o_T [N] \quad (22)$$

Kde:

$\alpha_L [1]$ střední hodnota součinitele vozidlového odporu hnacích vozidel pro časový interval Δt

$\alpha_D [1]$ střední hodnota součinitele vozidlového odporu tažených vozidel pro časový interval Δt

Přírůstek dráhy v i-tém kroku pro jízdu konstantní rychlostí $V=\text{konst.}$

Přírůstek dráhy Δl_i vypočteme ze vztahu:

$$\Delta l_i = (L_{ju} - L_{i-1}) \cdot 10^3 [m] \quad (23)$$

Kde:

$L_{ju} [\text{km}]$ poloha nejbližší následující změny redukovaného sklonu ve směru jízdy

$L_{i-1} [\text{km}]$ poloha vlaku na konci předešlého kroku.

Doba jízdy konstantní rychlostí $V=\text{konst.}$

Dobu jízdy Δt_i vypočteme ze vztahu:

$$\Delta t_i = \frac{\Delta l_i}{v_i} [s] \quad (24)$$

Kde:

$\Delta l_i [s]$ délka dráhy i-tého kroku

$v_i [\text{m/s}]$ konstantní rychlost i-tého kroku.

8.6 Brzdění vlaku

Provozní brzdění a_b pro nákladní vlak volím $-0,4 \text{ m/s}^2$.

Doba brzdění

Dobu brzdění t_b vypočteme ze vztahu:

$$t_b = \frac{v_p - v_k}{|a_b|} [s] \quad (25)$$

Kde:

- v_p [m/s] počáteční rychlost brzdění
 v_k [m/s] konečná požadovaná rychlost brzdění
 a_b [m/s²] brzdné zpomalení.

Dráha pro snížení rychlosti

Dráhu pro snížení rychlosti Δl_b vypočteme ze vztahu:

$$\Delta l_b = \frac{1}{2} \cdot \frac{v_k^2 - v_p^2}{|a_b|} [m] \quad (26)$$

Poloha vlaku na konci brzdění

Polohu vlaku na konci brzdění L_i vypočteme ze vztahu:

$$L_i = L_{i-1} + \frac{\Delta l_b}{1000} [km] \quad (27)$$

Kde:

- L_{i-1} [km] poloha vlaku na konci předešlého kroku
 Δl_b [m] dráha pro snížení rychlosti

Zastavení vlaku ve stanoveném místě na trati

Pro výpočet doby brzdění a kilometrické polohy začátku brzdění použijeme vztah:

$$V = V_0 - |a_b| \cdot t_b [km \cdot h^{-1}] \quad (28)$$

Z tohoto vzorce si vyjádříme t_b , čas brzdění:

$$t_b = -\frac{V - V_0}{3,6 \cdot |a_b|} [s] \quad (29)$$

Brzdná dráha od počátku brzdění až do úplného zastavení se vypočte pomocí vztahu:

$$L_b = \frac{(V_0 \cdot t_b - \frac{1}{2} \cdot |a_b| \cdot t_b^2)}{1000} [km] \quad (30)$$

Poté můžeme vypočítat místo zahájení brzdění, a to pomocí vztahu:

$$L_Z = L_D - L_b [km] \quad (31)$$

8.7 Udržování rychlosti brzdným režimem

Pokud vlak jede po spádu, je možno udržovat stanovenou rychlost v daném úseku pomocí brzdného režimu.

Ujetá dráha

$$\Delta L = L_i - L_{i-1} [km] \quad (32)$$

Kde:

L_i [km] poloha změny sklonu s_r

L_{i-1} [km] poloha vlaku na trati

Přírůstek času za jízdu brzdným režimem

$$\Delta t = \frac{\Delta l_i}{\frac{V}{3,6}} [s] \quad (33)$$

Kde:

Δl_i [m] přírůstek dráhy

V [km/h⁻¹] rychlost

8.8 Teoretická jízdní doba

Teoretickou jízdní dobu T_{jT} vypočteme ze vztahu:

$$T_{jT} = \frac{\sum_i \Delta t_i}{60} [min] \quad (34)$$

Kde:

Δt_i [s] doba jízdy v i-tém kroku

9 Vzorový výpočet tachogramu pro lokomotivu E 499.3 (163)

Vzorový výpočet je proveden pro směr Ostrava-Kunčice – Valašské Meziříčí, při dopravování 767 tun za použití ložených čtyřnápravových nákladních vozů (viz. Příloha I).

9.1 Tíha hnacího vozidla

Tíhu lokomotivy G_L vypočteme ze vztahu (7):

$$G_L = M_L \cdot g \cdot 1000$$

$$G_L = 85 \cdot g \cdot 1000$$

$$G_L = 833850 \text{ N}$$

9.2 Tíha tažených vozidel

Tíhu tažených vozidel G_D vypočteme ze vztahu (8):

$$G_D = M_D \cdot g \cdot 1000$$

$$G_D = 767 \cdot g \cdot 1000$$

$$G_D = 7524270 \text{ N}$$

9.3 Odpor hnacího vozidla

Vozidlový odpor O_L je proměnný v závislosti na okamžité rychlosti V_i . Z tohoto důvodu uvádím vzorový výpočet vozidlového odporu pro rychlost $V_i=60$ km/h podle vztahu (9):

$$O_L = G_L \cdot (a + b \cdot V + c \cdot V^2)$$

$$O_L = 833850 \cdot (2,8 \cdot 10^{-3} + 0 \cdot 60 + 8,5 \cdot 10^{-7} \cdot 60^2)$$

$$O_L = 4886,36 \text{ N}$$

9.4 Odpor tažených vozidel

Vozidlový odpor O_D je proměnný v závislosti na okamžité rychlosti V_i . Z tohoto důvodu uvádím vzorový výpočet vozidlového odporu pro rychlost $V_i=60$ km/h podle vztahu (9):

$$O_D = G_D \cdot (a + b \cdot V + c \cdot V^2)$$

$$O_D = 7524270 \cdot (1,3 \cdot 10^{-3} + 0 \cdot 60 + 3,3 \cdot 10^{-7} \cdot 60^2)$$

$$O_D = 18720,38 \text{ N}$$

9.5 Jízda silou $F > 0$ N

Přírůstek rychlosti pro jízdu silou $F_0 > 0$ N

Přírůstek rychlosti, vzorový výpočet pro 1. krok, podle vztahu (17):

$$\Delta v_i = \frac{g}{(1 + \rho)} \cdot \frac{F_{0i} - G_L \cdot o_{Li} - G_D \cdot o_{Di} - (G_L + G_D) \cdot o_{Ti}}{G_L + G_D} \cdot \Delta t_i$$

$$\Delta v_i = \frac{g}{(1 + 0,04)} \cdot \frac{209\,000 - 833\,850 \cdot 2,8 \cdot 10^{-3} - 752\,4270 \cdot 1,3 \cdot 10^{-3} - (833\,850 + 752\,4270) \cdot 0}{833\,850 + 752\,4270} \cdot 5$$

$$\Delta v_i = 0,984 \text{ m/s}$$

Rychlost na konci i-tého kroku pro jízdu silou $F_0 > 0$ N

Rychlost na konci i-tého kroku V_i , vzorový výpočet pro 1. krok, podle vztahu (18):

$$V_i = V_{i-1} + 3,6 \cdot \Delta v_i$$

$$V_i = 0 + 3,6 \cdot 0,984$$

$$V_i = 3,54 \text{ km/hod}$$

Přírůstek dráhy v i-tém kroku pro jízdu silou $F_0 > 0$ N

Přírůstek dráhy Δl_i , vzorový výpočet pro 1. krok, podle vztahu (19):

$$\Delta l_i = \frac{v_i + v_{i-1}}{2} \cdot \Delta t_i$$

$$\Delta l_i = \frac{0,984 + 0}{2} \cdot 5$$

$$\Delta l_i = 2,46 \text{ m}$$

Poloha vlaku na konci i-tého kroku pro jízdu silou $F_0 > 0$ N

Poloha vlaku na konci výpočtového kroku L_i , vzorový výpočet pro 1. krok, podle vztahu (20):

$$L_i = L_{i-1} + \frac{\Delta l_i}{1000}$$

$$L_i = 0 + \frac{2,46}{1000}$$

$$L_i = 0,00246 \text{ km}$$

9.6 Jízda výběhem $F_0=0$ N

Přírůstek rychlosti pro jízdu výběhem $F_0=0$ N

Přírůstek rychlosti, vzorový výpočet pro 300. krok podle vztahu (21):

$$\Delta v_i = -1 \cdot \frac{g}{(1 + \rho)} \cdot \frac{G_L \cdot \bar{o}_l + G_D \cdot \bar{o}_D + (G_L + G_D) \cdot o_T}{G_L + G_D} \cdot \Delta t_i$$

$$\Delta v_i = -1 \cdot \frac{g}{(1 + 0,04)} \cdot \frac{833850 \cdot 5,47 \cdot 10^{-3} + 7524270 \cdot 2,33 \cdot 10^{-3} + (833850 + 7524270) \cdot -\frac{16,64}{1000}}{833850 + 7524270} \cdot 5$$

$$\Delta v_i = 0,660 \text{ m/s}$$

Rychlost na konci i-tého kroku pro jízdu výběhem $F_0=0$ N

Rychlost na konci i-tého kroku, vzorový výpočet pro 25. krok, podle vztahu (18):

$$V_i = V_{i-1} + 3,6 \cdot \Delta v_i$$

$$V_i = 56,13 + 3,6 \cdot (0,660)$$

$$V_i = 58,51 \text{ km/hod}$$

Přírůstek dráhy v i-tém kroku pro jízdu výběhem $F_0=0$ N

Přírůstek dráhy Δl_i , vzorový výpočet pro 300. krok, podle vztahu (19):

$$\Delta l_i = \frac{v_i + v_{i-1}}{2} \cdot \Delta t_i$$

$$\Delta l_i = \frac{15,59 + 16,252}{2} \cdot 5$$

$$\Delta l_i = 79,6 \text{ [m]}$$

Poloha vlaku na konci i-tého kroku pro jízdu výběhem $F_0=0$ N

Polohu vlaku na konci výpočtového kroku L_i , vzorový výpočet pro 300. krok, podle vztahu (20):

$$L_i = L_{i-1} + \frac{\Delta l_i}{1000}$$

$$L_i = 41,623 + \frac{79,6}{1000}$$

$$L_i = 41,702 \text{ km}$$

9.7 Jízda konstantní rychlostí $V=\text{konst.}$

Tažná síla pro jízdu konstantní rychlostí

Tažnou sílu pro jízdu konstantní rychlostí $V=80$ km/h, vzorový výpočet pro 29. krok, podle vztahu (22):

$$\overline{F}_0 = G_L \cdot \overline{o}_l + G_D \cdot \overline{o}_D + (G_L + G_D) \cdot o_T$$

$$\overline{F}_0 = 833850 \cdot 8,25 \cdot 10^{-3} + 7524270 \cdot 3,42 \cdot 10^{-3} + (833850 + 7524270) \cdot \frac{0,44}{1000}$$

$$\overline{F}_0 = 17390,42 \text{ N}$$

Přírůstek dráhy v i-tém kroku pro jízdu konstantní rychlostí $V=\text{konst.}$

Přírůstek dráhy, vzorový výpočet pro 29. krok, podle vztahu (23):

$$\Delta l_i = (L_{ju} - L_{i-1}) \cdot 10^3$$

$$\Delta l_i = (1,774 - 1,728) \cdot 10^3$$

$$\Delta l_i = 46 \text{ m}$$

Doba jízdy konstantní rychlostí $V=\text{konst.}$

Doba jízdy, vzorový výpočet pro 29. krok, podle vztahu (24):

$$\Delta t_i = \frac{\Delta l_i}{v_i}$$

$$\Delta t_i = \frac{46}{22,25}$$

$$\Delta t_i = 2,1 \text{ s}$$

9.8 Brzdění vozidla

Doba brzdění

Doba brzdění, vzorový výpočet pro 48. krok, podle vztahu (25):

$$t_b = \frac{v_p - v_k}{|a_b|}$$

$$t_b = \frac{20,83 - 19,44}{|-0,4|}$$

$$t_b = 3,475 \text{ s}$$

Potřebná dráha pro snížení rychlosti

Dráha pro snížení rychlosti, vzorový výpočet pro 48. krok, podle vztahu (26):

$$\Delta l_b = \frac{1}{2} \cdot \frac{v_k^2 - v_p^2}{|a_b|}$$

$$\Delta l_b = \frac{1}{2} \cdot \frac{20,83^2 - 19,44^2}{|-0,4|}$$

$$\Delta l_b = 70,125 \text{ m}$$

Poloha vlaku na konci brzdění

Poloha vlaku na konci brzdění, vzorový výpočet pro 33. krok, podle vztahu (27):

$$L_i = L_{i-1} + \frac{\Delta l_b}{1000}$$

$$L_i = 8,007 + \frac{70,125}{1000}$$

$$L_i = 8,077 \text{ km}$$

Zastavení vlaku ve stanoveném místě na trati

Vzorový výpočet je prováděn pro zastavení v dopravně Lískovec u Frýdku.

Výpočet času do úplného zastavení podle vztahu (29):

$$t_b = -\frac{V - V_0}{3,6 \cdot |a_b|} = -\frac{0 - 70}{3,6 \cdot |-0,4|} = 48,61 \text{ s}$$

Výpočet brzdné dráhy podle vztahu (30):

$$L_b = \frac{\left(V_0 \cdot t_b - \frac{1}{2} \cdot |a_b| \cdot t_b^2\right)}{1000} = \frac{\left(\frac{70}{3,6} \cdot 48,61 - \frac{1}{2} \cdot |0,4| \cdot 48,61^2\right)}{1000} = 0,473 \text{ km}$$

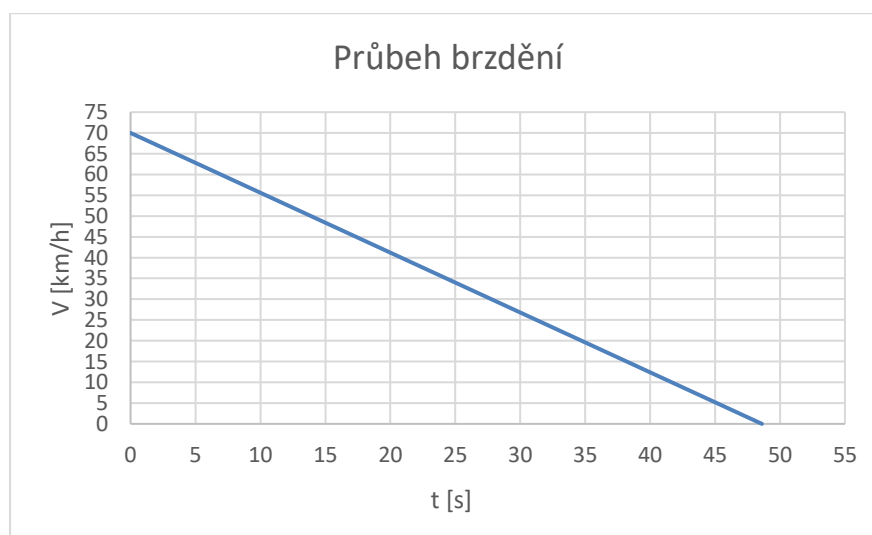
Výpočet místa zahájení brzdění podle vztahu (31):

$$L_Z = L_D - L_b = 18,9 - 0,473 = 18,429$$

Pro zastavení v dopravně Lískovec u Frýdku v kilometrické poloze 18,9 km, z rychlosti 70 km/h musíme začít brzdit v kilometrické poloze 18,429 km.

Tab. 15 Brzdění do stanice Lískovec u Frýdku (viz. Příloha I)

Brzdění do stanice Lískovec u Frýdku		
tb [s]	Lb [km]	V [km/h]
0	18,429	70
5	18,521	62,8
10	18,603	55,6
15	18,676	48,4
20	18,738	41,2
25	18,790	34
30	18,832	26,8
35	18,865	19,6
40	18,887	12,4
45	18,899	5,2
48,61	18,902	0



Graf 3. Průběh brzdění do stanice Lískovec u Frýdku (viz. Příloha I)

9.9 Udržování rychlosti brzdným režimem

Ujetá dráha

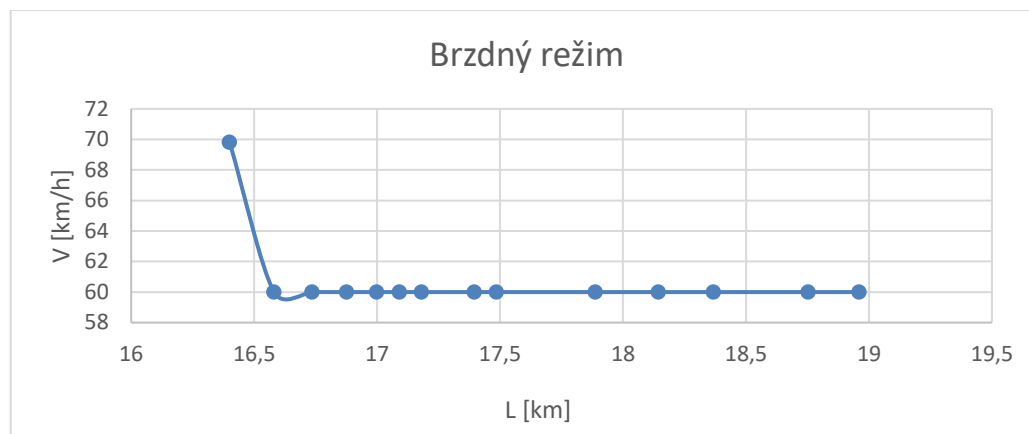
Drahá ujetá brzdným režimem, výpočet pro 260. krok, podle vztahu (32):

$$\Delta L = 34,24 - 34,034 = 0,206 \text{ km}$$

Přírůstek času za jízdu brzdným režimem

Doba trvání jízdy brzdným režimem, výpočet pro 260. krok, podle vztahu (33):

$$\Delta t = \frac{206}{\frac{65}{3,6}} = 11,41 \text{ s}$$



Graf. 4 Ukázka jízdy vlaku pomocí brzdného režimu

9.10 Teoretická jízdní doba

Teoretickou jízdní dobu vypočteme podle vztahu (34):

$$T_{jT} = \frac{\sum \Delta t_i}{60} = 65,4 [\text{min}]$$

Tab. 16 Ukázková tabulka všech situací při výpočtu tachogramu (viz. Příloha I)

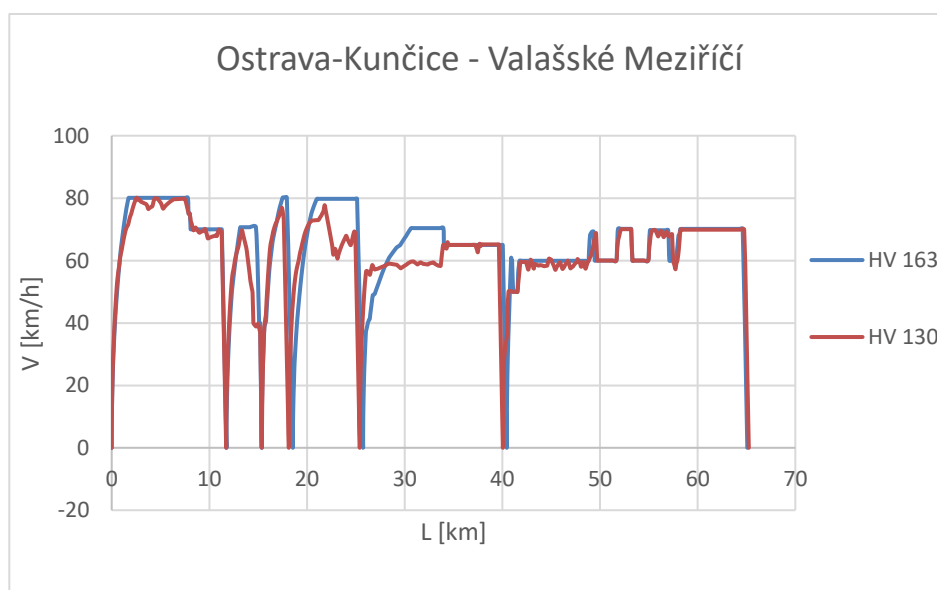
<i>i</i>	Δt_i	<i>Fo</i>	<i>sr</i>	<i>Vi-1</i>	ΔV_i	<i>Vi</i>	<i>Vs</i>	ΔL_i	<i>Li</i>	Km. Poloha	
	[s]	[kN]	[‰]	[km·h-1]	[km·h-1]	[km·h-1]	[km·h-1]	[km]	[km]	[km]	
0	0	0	2,69	0,00		0			0	7,15	
1	5	209	2,69	0,00	3,54	3,54	1,77	0,002	0	7,15	
29	2,07	17,39	0,44	80,09	0,00	80,09	80,09	0,046	1,774	8,93	v=konst
48	3,47	0,00	1,50	75,00	-5,00	70,00	72,50	0,07	8,077	15,23	B
57	48,61	0,00	3,96	70,00	-70,00	0,00	35,00	0,47	11,750	18,90	B- Lískovec
260	11,38	0	-2,23	65,00	0,00	65	65,00	0,206	34,240	92,61	B
300	5	0	-16,64	56,13	2,37	58,51	57,32	0,080	41,702	85,15	Výběh

10 Porovnání parametrů pohybu jízdy vlaků elektrické a motorové trakce

V této kapitole porovnávám parametry pohybu elektrických hnacích vozidel mezi sebou a následně porovnávám jízdní doby s vybranými vlaky nákladní dopravy vedenými hnacími vozidly motorové trakce. Tachogram jsem konstruoval podle jízdy manipulačního vlaku Mn 80050 ve směru Ostrava-Kunčice – Valašské Meziříčí. Ve směru Valašské Meziříčí – Ostrava-Kunčice podle manipulačního vlaku Mn 80053. Řídil jsem se jízdou těchto vlaků, abych byl schopen porovnat jízdní doby mezi těmito manipulačními vlaky a mnou navrženými hnacími vozy elektrické trakce. Veškeré informace o jízdách nákladních vlaků jsem čerpal ze sešitového jízdního řádu 302 pro nákladní dopravu.

10.1 Porovnání parametrů pohybu jízdy vlaků ve směru Ostrava-Kunčice – Valašské Meziříčí

Grafické porovnání tachogramů



Graf. 5 Porovnání dráhových tachogramů vlaků vedených HV 163 a HV 130

Jak je z grafu (viz. Graf. 5) patrné, hnací vozidlo E 479.0 (130) není schopno dosáhnout rychlosti 80 km/h stejně rychle jako hnací vozidlo E 499.3 (163). Této rychlosti dosáhne pouze v místech s malým stoupáním, nebo v místech trati kde jsou vyšší hodnoty spádu.

Porovnání jízdních dob**Celková jízdní doba vlaku vedeného HV E 479.0 (130)**

$$T_j = \sum_{i=1} \Delta T_i = 67,3 \text{ min}$$

Celková jízdní doba vlaku vedeného HV E 499.3 (163)

$$T_j = \sum_{i=1} \Delta T_i = 65,4 \text{ min}$$

Stejného závěru jako z grafického porovnání dosáhneme i po porovnání jízdních dob těchto dvou vlaků. Vlak vedený hnacím vozidlem E 499.3 (163) je díky většímu výkonu o necelé 2 minuty na této trati rychlejší než vlak vedený hnacím vozidlem E 479.0 (130).

Porovnání jízdních dob s manipulačním vlakem Mn 80050:

Tab. 17 Porovnání jízdních dob elektrické trakce s MN 80050 (viz. Příloha I)

Porovnání jízdní doby směr Ostrava-Kunčice - Valašské Meziříčí				
Mn 80050		Typ použitého HV		
		731	130	163
	Ostrava Kunčice	94 [min]	42 [min]	41 [min]
p	Vratimov			
p	Paskov			
z	Lískovec			
z	Frýdek Místek			
z	Baška			
p	Pržno			
z	Frýdlant			
p	Kunčice			
z	Frenštát p.Rad			

Z tabulky (viz. Tab. 17) je patrná úspora času v porovnání s motorovou trakcí. Rozdíl v případě HV 163 činí 53 minut, v porovnání s HV 130 je 52 minut.

Dále jsem dobu jízdy porovnal s dalšími třemi vlaky. Vybral jsem expresní nákladní vlak č. 40748, a dva manipulační vlaky č. 80036 a č. 80034. V případě, kdy vzorový vlak stavěl v dopravně, kterou jsem při konstrukci tachogramu projížděl, použil jsem technologickou přírážku na zastavení a rozjezd vlaku 0,6 minuty.

Tab. 18 Porovnání jízdních dob s vybranými vlaky (viz. Příloha I)

Porovnání jízdní doby směr Ostrava-Kunčice - Valašské Meziříčí				
Nex 40748		Typ použitého HV		
		2x 740	130	163
	Ostrava Kunčice	5 [min]	3,9 [min]	3,9 [min]
z	Vratimov			
Mn 80036		Typ použitého HV		
		731	130	163
	Frýdek-Místek	7 [min]	3,5 [min]	4 [min]
z	Baška			
Mn 80034		Typ použitého HV		
		771	130	163
	Ostrava Kunčice	11 [min]	7,1[min]	7,2[min]
p	Vratimov			
z	Paskov			

Porovnání technického normativu ve směru Ostrava-Kunčice – Valašské Meziříčí

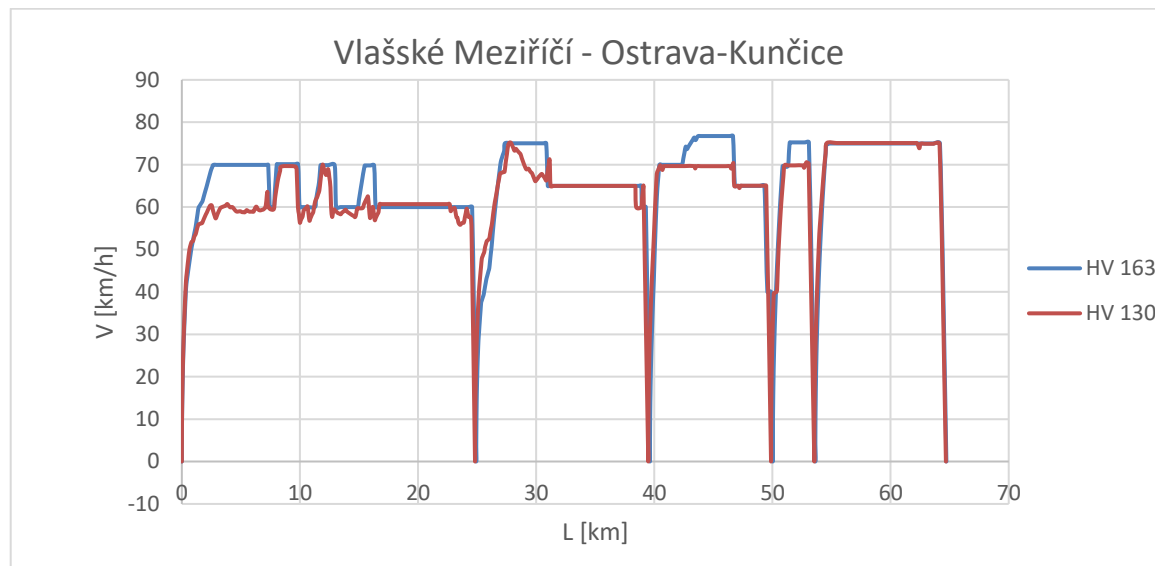
Tab. 19 Porovnání technických normativů pro celou trať (viz. Příloha I)

Ostrava-Kunčice - Valašské Meziříčí							
Úsek	Technický normativ hmotnosti typy HV						
	731	740	742	753.7	2x 740	130	163
Ostrava-Kunčice - Valašské Meziříčí	T4 500	T4 600	T4 550	T4 600	T4 1100	T4 690	T4 767

Jak je z tabulky (viz. Tab. 19) patrné, elektrická trakce je schopna na tomto traťovém úseku dopravit větší zátěž než trakce motorová. V případě použití HV 130 jsme schopni přepravit o 90 tun více, zatím co při použití výkonnějšího HV 163 jsme schopni přepravit až o 167 tun více.

10.1 Porovnání parametrů pohybu jízdy vlaků ve směru Ostrava-Kunčice – Valašské Meziříčí

Grafické porovnání tachogramů



Graf. 6 Porovnání dráhových tachogramů vlaků vedených HV 163 a HV 130

Jak je z grafu (viz. Graf. 6) patrné, i v opačném směru hnací vozidlo E 479.0 (130) není schopno dosáhnout maximální traťové rychlosti stejně rychle jako hnací vozidlo E 499.3 (163). Dosáhne jí pouze v místech s malým stoupáním, nebo v místech s vyšší hodnotou spádu.

Porovnání jízdních dob

Celková jízdní doba vlaku vedeného HV E 479.0 (130)

$$T_j = \sum_{i=1} \Delta T_i = 39,1 \text{ min}$$

Celková jízdní doba vlaku vedeného HV E 499.3 (163)

$$T_j = \sum_{i=1} \Delta T_i = 38,9 \text{ min}$$

Ve směru Ostrava-Kunčice – Valašské Meziříčí jsou jízdní doby těchto dvou hnacích vozidel elektrické trakce téměř identické.

Tab. 20 Porovnání jízdních dob elektrické trakce s Mn 80053 (viz. Příloha I)

Porovnání jízdní doby směr Valašské Meziříčí -Ostrava-Kunčice				
Mn 80053		Typ použitého HV		
		731	130	163
	Frenštát p.Rad	64 [min]	39,1 [min]	38,9 [min]
p	Kunčice			
z	Frýdlant			
p	Pržno			
p	Baška			
z	Frýdek Místek			
z	Lískovec			
p	Paskov			
p	Vratimov			
	Ostrava Kunčice			

Také ve směru Valašské Meziříčí – Ostrava-Kunčice při použití HV elektrické trakce dosáhneme v porovnání s manipulačním vlakem vedeným HV motorové trakce časovou úsporu, která činí necelých 25 minut.

Pro další porovnání jsem opět zvolil tři vlaky. Vybral jsem expresní nákladní vlak č. 40749, a dva manipulační vlaky č. 80037 a č. 80035. Také jako v předchozím směru jsem pro zastavení a rozjezd volil technologickou přírážku 0,6 minuty.

Tab. 21 Porovnání jízdních dob s vybranými vlaky (viz. Příloha I)

Porovnání jízdní doby směr Valašské Meziříčí -Ostrava-Kunčice				
Nex 40749		Typ použitého HV		
		2x 740	130	163
	Vratimov	5 [min]	3, 1[min]	3 [min]
z	Ostrava Kunčice			
Mn 80037		Typ použitého HV		
		731	130	163
	Baška	7 [min]	4 [min]	4,3 [min]
z	Frýdek-Místek			
Mn 80035		Typ použitého HV		
		771	130	163
	Paskov	10 [min]	6,7 [min]	6,8 [min]
P	Vratimov			
z	Ostrava Kunčice			

Porovnání technického normativu ve směru Ostrava-Kunčice – Valašské Meziříčí

Tab. 22 Porovnání technických normativů pro celou trať (viz. Příloha I)

Valašské Meziříčí - Ostrava-Kunčice							
Úsek	Technický normativ hmotnosti typy HV						
	731	740	742	753.7	2x 740	130	163
Ostrava-Kunčice - Valašské Meziříčí	T4 500	T4 600	T4 550	T4 600	T4 1100	T4 698	T4 775

Z tabulky (viz. Tab. 22) je zřejmé, že elektrická trakce je schopna i v opačném směru dopravit větší zátěž než trakce motorová. V případě použití HV 130 jsme schopni přepravit o 98 tun více, zatím co při použití výkonnějšího HV 163 jsme schopni přepravit až o 175 tun více.

11 Stanovení energetické náročnosti ²

Stanovení energetické náročnosti vozby vlaku na traťovém úseku je jedna z důležitých částí trakčních výpočtu, která nám pomáhá vyčíslit ekonomické náklady vozby. Tento výpočet je důležitý nejen po ekonomické stránce, ale i po technické, a to z důvodu určení zatížení napájecích stanic drah, zatížení a ztrát v trakčním vedení a k řešení dalších provozních úkolů.

11.1 Energie spotřebovaná jedním trakčním motorem pro vozbu

$$E'_{1TM} = \sum_i U_{1TM} \cdot I_{1TM} \cdot \Delta t_i \quad [Ws] \quad (35)$$

Kde:

U_{1TM} [V] napětí připadající na jeden trakční motor

I_{1TM} [A] hodnota proudu v i-tém časovém úseku

Δt_i [s] doba trvání i-tého časového úseku

Napětí na jednom trakčním motoru při sériovém řazení motorů:

$$U_{1TM} = \frac{U_N}{p} = \frac{3000}{4} = 750 \quad [V] \quad (36)$$

Napětí na motoru při sérioparalelním řazení motorů:

$$U_{1TM} = \frac{U_N}{p} = \frac{3000}{2} = 1500 \quad [V] \quad (37)$$

Kde:

U_N [V] napájecí napětí

p [1] počet trakčních motorů zapojených v sériovém spojení

Střední hodnota proudu procházející jedním trakčním motorem iI_{1TM} :

Střední hodnotu proudu zjišťujeme ze spotřební charakteristiky dané řady hnacího vozidla. Spotřební charakteristika je udávána jako závislost proudu jednoho trakčního motoru na tažné síle $I_{1TM} = f(F_{OK})$.

$$iI_{STM} = \frac{iI_{k1TM} + iI_{r1TM}}{2} \quad [A] \quad (38)$$

Kde:

i_{k1TM} [A] procházející proud na počátku výpočtového kroku

i_{f1TM} [A] procházející proud na konci výpočtového kroku

Přepočet W_s na kWh:

$$E_{1TM} = k_{kW} \cdot E'_{1TM} \text{ [kWh]} \quad (39)$$

Kde:

k_{kW} [1] konstanta pro převod jednotek, $k_{kW} = 2,778 \cdot 10^{-7}$

Celková energie spotřebovaná pro vozbu všemi trakčními motory

Pro stanovení E_{TR} použijeme následující postup:

$$E_{TR} = E_{1TM} \cdot m \text{ [kWh]} \quad (40)$$

Kde:

E_{1TM} [V] spotřeba připadající na jeden trakční motor

m [1] počet trakčních motorů hnacího vozidla

Spotřeba elektrické energie vlaků vedených vozidly závislé vozby

Při stanovení spotřeby elektrické energie vlaků, vedených vozidly závislé vozby, vycházíme ze vztahu popisujícího souhrn jednotlivých složek spotřeby:

$$E_C = E_{TR} + E_{PZ} + E_{NAP} + E_Z \text{ [kW]} \quad (41)$$

Kde:

E_C [kW] celková spotřeba energie při jízdě vlaku stanovená na sběrači hnacího vozidla

E_{TR} [kW] energie spotřebovaná pro vozbu

E_{PZ} [kW] energie spotřebovaná pro pohon pomocných zařízení hnacího vozidla

E_{NAP} [kW] energie spotřebovaná taženými vozidly

E_Z [kW] energie potřebná k pokrytí ztrát, které nejsou započtené do E_{TR}

11.2 Energie spotřebovaná pro napájení pomocných zařízení

Skutečný příkon pomocných spotřebičů je v praxi závislá na jízdě vlaku, z tohoto důvodu se stanoví velmi obtížně. Proto při výpočtu spotřeby vycházíme z empirického pozorování závislosti E_{PZ} na spotřebě energie pro vozbu E_{TR} .

Pro tento výpočet používáme vztah:

$$E_{PZ} = \kappa \cdot E_{TR} \text{ [kWh]} \quad (42)$$

Kde:

κ [1] poměrná spotřeba pomocných pohonů. Používají se hodnoty:
 $\kappa = 0,02$ pro hnací vozidla stejnosměrné vozby, $\kappa = (0,025; 0,03)$
 pro hnací vozidla střídavé vozby

11.3 Energie spotřebovaná pro napájení tažených vozidel

Tato energie je spotřebovávána pro napájení zařízení na tažených vozidlech jako je např. vytápění vlakové soupravy, napájení klimatizace a vozových akumulátorů atd. Pro běžný výpočet se spotřeba elektrické energie E_{NAP} stanovuje podle vzorce:

$$E_{NAP} = k_{kW} \cdot \varphi \cdot G_D \cdot t_{NAP} \text{ [kWh]} \quad (43)$$

Kde:

φ [W.N⁻¹] měrná spotřeba pro napájení. Její hodnota je v rozsahu: $\varphi=(1;1,75)$,
 kdy nižší hodnota se používá pro napájení nabíjecích agregátů
 osobních vozů v letním období, horní hodnota pak pro starší vozy
 s termostatickou regulací v zimním období

t_{NAP} [s] celková doba napájení elektrických zařízení tažených vozidel

12 Vzorové výpočty

Pro vzorový výpočet spotřeby jsem si zvolil směr Valašské Meziříčí – Ostrava-Kunčice, 14. krok výpočtu tachogramu pro lokomotivu 130:

12.1 Energie spotřebovaná jedním trakčním motorem v 14. kroku

V 14. kroku jsou motory zapojeny do série. Napětí se tedy rovná $U=750$ V podle vztahu (36).

Střední hodnota proudu podle vztahu (38):

$${}_{14}I_{STM} = \frac{{}_{14}I_{k1TM} + {}_{14}I_{r1TM}}{2}$$

$${}_{14}I_{STM} = \frac{435 + 425}{2}$$

$${}_{14}I_{STM} = 430 \text{ A}$$

Energie spotřebovaná jedním trakčním motorem podle vztahu (35):

$$E'_{1TM} = \sum_i U_{1TM} \cdot I_{1TM} \cdot \Delta t_i$$

$$E'_{1TM14} = 750 \cdot 430 \cdot 5$$

$$E'_{1TM14} = 1612500 \text{ W}_s$$

Přepočet W_s na kWh podle vztahu (39):

$$E_{1TM14} = k_{kw} \cdot E'_{1TM5}$$

$$E_{1TM14} = \frac{10^{-3}}{3600} \cdot 1612500$$

$$E_{1TM14} = 0,44791 \text{ kWh}$$

12.2 Celková energie spotřebovaná pro vozbu všemi trakčními motory v 14. kroku

Celkově spotřebovaná energie všemi trakčními motory podle vztahu (40).

$$E_{TR14} = E_{1TM} \cdot m$$

$$E_{TR14} = 0,44791 \cdot 4$$

$$E_{TR14} = 1,792 \text{ kWh}$$

12.3 Energie spotřebovaná pro napájení pomocných zařízení v 14. kroku

Pro hnací vozidlo stejnosměrné vozby $\kappa = 0,02$. Výpočet podle vztahu (42):

$$E_{PZ14} = \kappa \cdot E_{TR}$$

$$E_{PZ14} = 0,02 \cdot 1,792$$

$$E_{PZ14} = 0,03584 \text{ kWh}$$

12.4 Celkově spotřebovaná elektrická energie v 14. kroku

Pro vozbu nákladních vozů jsem předpokládal nulovou energii spotřebovanou pro napájení tažených vozidel. Veškeré ztráty (v rozjezdových rezistorech, trakčních motorech) jsou zahrnuty v předchozích výpočtech. Můžeme tedy uvést: $E_z=0$. Celkově spotřebovanou energii vypočteme podle vztahu (41):

$$E_{C14} = E_{TR5} + E_{PZ5} + E_{NAP5} + E_z$$

$$E_{C14} = 1,792 + 0,03584 + 0 + 0$$

$$E_{C14} = 1,83 \text{ kWh}$$

Tab. 23. Tabulka výpočtu spotřeby elektrické energie pro prvních 14. kroků (viz. Příloha I)

i	Δt_i	V_{i-1}	V_i	I_{k1TM}	I_{r1TM}	I_{S1TM}	I_c	U_1	E_{tr}	E_{pz}	E_c
	[s]	[km·h ⁻¹]	[km·h ⁻¹]	[A]	[A]	[A]	[A]	[V]	[Ws]	[Ws]	[Ws]
0	0	0,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	5	0,00	5,02	0	500	250	1000	750	3750000	75000	3825000
2	5	5,02	9,87	500	490	495	1980	750	7425000	148500	7573500
3	5	9,87	13,92	490	483	486,5	1946	750	7297500	145950	7443450
4	5	13,92	17,82	483	477	480	1920	750	7200000	144000	7344000
5	5	17,82	21,65	477	474	475,5	1902	750	7132500	142650	7275150
6	5	21,65	25,34	474	460	467	1868	750	7005000	140100	7145100
7	5	25,34	28,96	460	453	456,5	1826	750	6847500	136950	6984450
8	5	28,96	32,49	453	454	453,5	1814	750	6802500	136050	6938550
9	5	32,49	35,89	454	448	451	1804	750	6765000	135300	6900300
10	5	35,89	39,24	448	448	448	1792	750	6720000	134400	6854400
11	5	39,24	42,54	448	445	446,5	1786	750	6697500	133950	6831450
12	5	42,54	44,25	445	439	442	1768	750	6630000	132600	6762600
13	5	44,25	45,92	439	435	437	1748	750	6555000	131100	6686100
14	5	45,92	47,57	435	425	430	1720	750	6450000	129000	6579000
									E_{tr}	E_{pz}	E_c
									[Ws]	[Ws]	[Ws]
									93277500	1865550	95143050
									[kW/h]		
									26,42863		

Z tabulky (viz. Tab. 23) je patrné že celková spotřeba elektrické energie pro těchto prvních 14. kroků výpočtu činí $E_c=95143050$ Ws neboli $E_c=26,43$ kW/h. Při předpokládané ceně 3 Kč za kW/h silové elektřiny pro ČD činí náklady na těchto prvních 14. kroků necelých 80 Kč.

Porovnání spotřeby elektrické energie, směr Ostrava-Kunčice – Valašské Meziříčí**Celková spotřeba elektrické energie vlaku vedeného HV E 479.0 (130)**

Celková energie spotřebována všemi čtyřmi trakčními motory:

$$E_c = 1192,42 \text{ kWh}$$

Peněžní vyjádření spotřeby:

Za předpokladu ceny 1kWh silové elektřiny pro ČD = 2 Kč. Poté činní celková suma nákladů na jízdu tohoto vlaku 2385,00 Kč.

Celková spotřeba elektrické energie vlaku vedeného HV E 499.3 (163)

Celková energie spotřebována všemi čtyřmi trakčními motory:

$$E_c = 1662,81 \text{ kWh}$$

Peněžní vyjádření spotřeby:

Za předpokladu ceny 1kWh silové elektřiny pro ČD = 2 Kč. Poté činní celková suma nákladů na jízdu tohoto vlaku 3326,00 Kč.

Porovnání spotřeby elektrické energie, směr Valašské Meziříčí – Ostrava-Kunčice**Celková spotřeba elektrické energie vlaku vedeného HV E 479.0 (130)**

Celková energie spotřebována všemi čtyřmi trakčními motory:

$$E_c = 902,34 \text{ kWh}$$

Peněžní vyjádření spotřeby:

Za předpokladu ceny 1kWh silové elektřiny pro ČD = 2 Kč. Poté činní celková suma nákladů na jízdu tohoto vlaku 1804,68 Kč.

Celková spotřeba elektrické energie vlaku vedeného HV E 499.3 (163)

Celková energie spotřebována všemi čtyřmi trakčními motory:

$$E_c = 1156,07 \text{ kWh}$$

Peněžní vyjádření spotřeby:

Za předpokladu ceny 1kWh silové elektřiny pro ČD = 2 Kč. Poté činní celková suma nákladů na jízdu tohoto vlaku 2312,00 Kč.

13 Provozně technické vyhodnocení

Cílem práce bylo na základě analýzy provozních podmínek stanovit normativ vybraných typů vlaků a jejich energetickou náročnost po předpokládané elektrifikaci.

Pro výpočty byla vybrána hnací vozidla elektrické trakce E 479.0 (130) a E 499.3 (163).

Po provedení analýzy provozních podmínek a výpočtu redukovaného sklonu, byly stanoveny normativní hmotnosti pro tyto dva hnací vozidla. Pro směr Ostrava-Kunčice – Frýdek-Místek – Valašské Meziříčí byly vypočteny hodnoty 690 tun pro HV E 479.0 (130) a 767 tun pro HV E 499.3 (163). Pro opačný směr vyšly hodnoty normativní hmotnosti 698 tun pro HV E 479.0 (130) a 775 tun pro HV E 499.3 (163). Ve směru Ostrava-Kunčice – Frýdek-Místek – Valašské Meziříčí jsme tedy schopni dopravit o 167 tun více než při použití motorové trakce. V opačném směru jsme schopni dopravit dokonce o 175 tun více. (viz. Tab. 19 a Tab. 22)

Následně byly sestaveny tachogramy jízdy pro obě hnací vozidla elektrické trakce a stanovena celková spotřeba elektrické energie pro vozbu vlaků o vypočtené normativní hmotnosti. Ve směru Ostrava-Kunčice – Frýdek-Místek – Valašské Meziříčí spotřebovalo HV E 479.0 (130) celkem 1192,42 kWh a HV E 499.3 (163) celkem 1662,81 kWh elektrické energie. Pro ČD jsem předpokládal cenu 1 kWh 2 Kč. Tedy celkové náklady na vozbu vyšly 2385,00 Kč a 3326,00 Kč. Můžeme tedy říct, že dopravení jedné tuny HV E 479.0 (130) stálo 3,45 Kč a cena dopravy jedné tuny HV E 499.3 (163) stálo 4,33 Kč.

Pro opačný směr spotřebovalo HV E 479.0 (130) celkem 902,34 kWh a HV E 499.3 (163) celkem 1156,07 kWh elektrické energie. Celkové náklady na vozbu tedy vyšly 1804,68 Kč a 2312,00 Kč. Dopravení jedné tuny HV E 479.0 (130) tedy stálo 2,58 Kč a cena dopravy jedné tuny HV E 499.3 (163) stálo 2,98 Kč.

Použitím hnacích vozidel elektrické trakce lze předpokládat urychlení vozby na tomto traťovém úseku, a tedy i zvýšení přepravní kapacity. Na základě výpočtu parametru pohybu těchto hnacích vozidel lze předpokládat, že elektrifikace trati by měla za následek finanční úspory na vozbu nákladní i osobní dopravy.

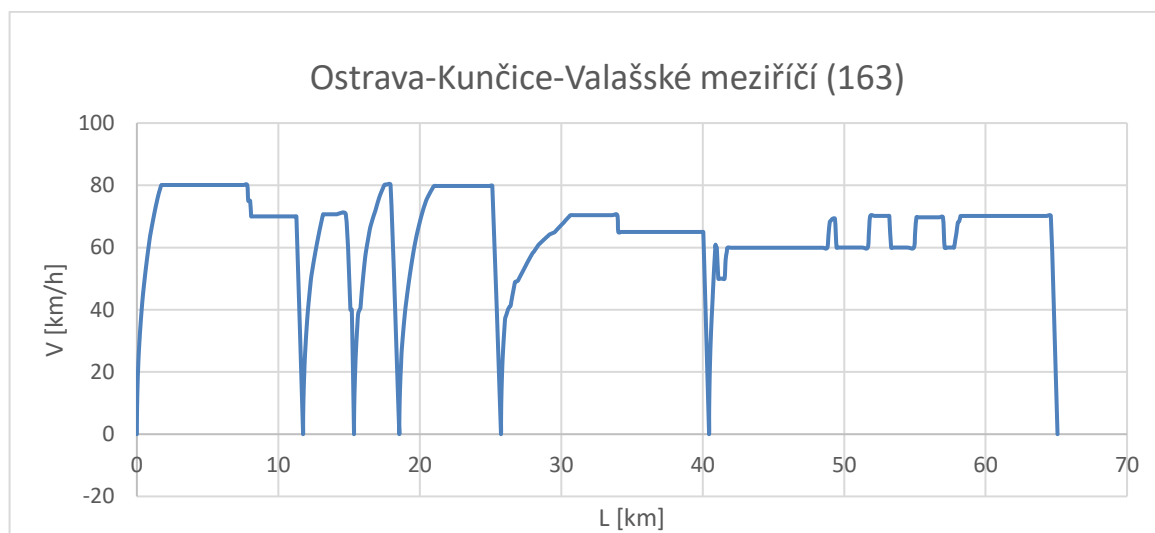
Seznam použité literatury

1. VÍTEK, Ladislav. *Kroměříž a železnice: historie trati Kojetín - Valašské Meziříčí*. Osíčko: Kroměřížská dráha, o.s., 2013. [ISBN 978-80-260-7240-9](#).
2. ŠIROKÝ, Jaromír. *Mechanika v Dopravě I: Kolejová vozidla*. Ostrava, 2004. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava.
3. Železniční trať 323, Ostrava - Valašské Meziříčí. In: Wikipedie [online]. 2018 [cit. 2018-03-31]. Dostupné z:
https://cs.wikipedia.org/wiki/%C5%BDelezni%C4%8Dn%C3%AD_tra%C5%A5_Ostrava_%E2%80%93_Vala%C5%A1sk%C3%A9_Mezi%C5%99%C3%AD%C4%8D%C3%AD#/media/File:CZE_rail_323.svg
4. Atlas lokomotiv. *Atlas lokomotiv* [online]. 15.4.2006 [cit. 2018-05-11]. Dostupné z: <http://www.atlaslokomotiv.net/loko-163.html>
5. Atlas lokomotiv. *Atlas lokomotiv* [online]. 22.6.2010 [cit. 2018-05-11]. Dostupné z: <http://www.atlaslokomotiv.net/loko-130.html>

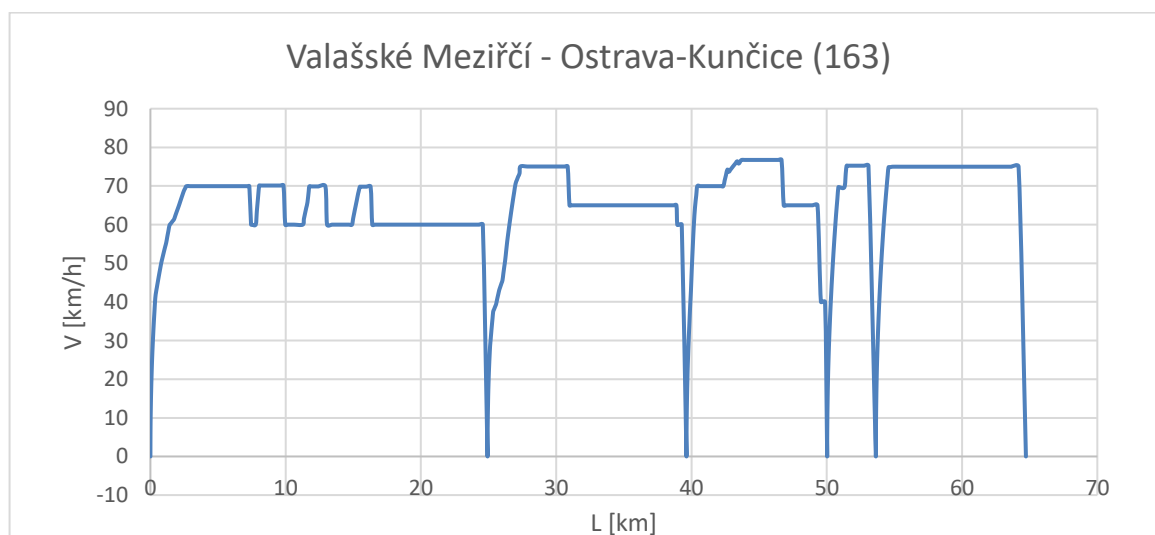
Přílohy

Dokumentace:

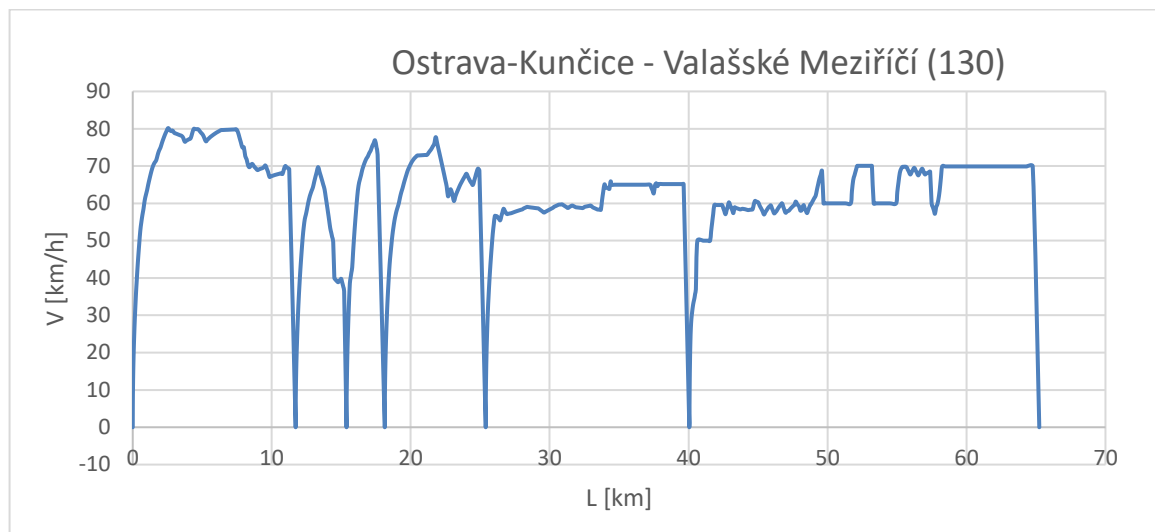
Příloha A: Dráhový tachogram vlaku vedeným HV 499.3 (163), směr Ostrava-Kunčice – Valašské Meziříčí



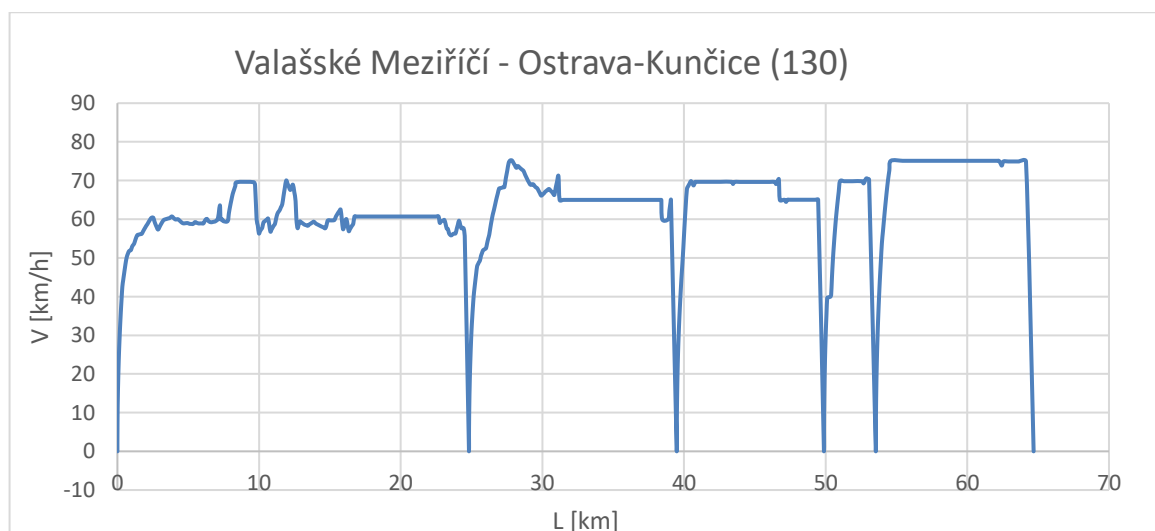
Příloha B: Dráhový tachogram vlaku vedeným HV 499.3 (163), směr Valašské Meziříčí – Ostrava-Kunčice



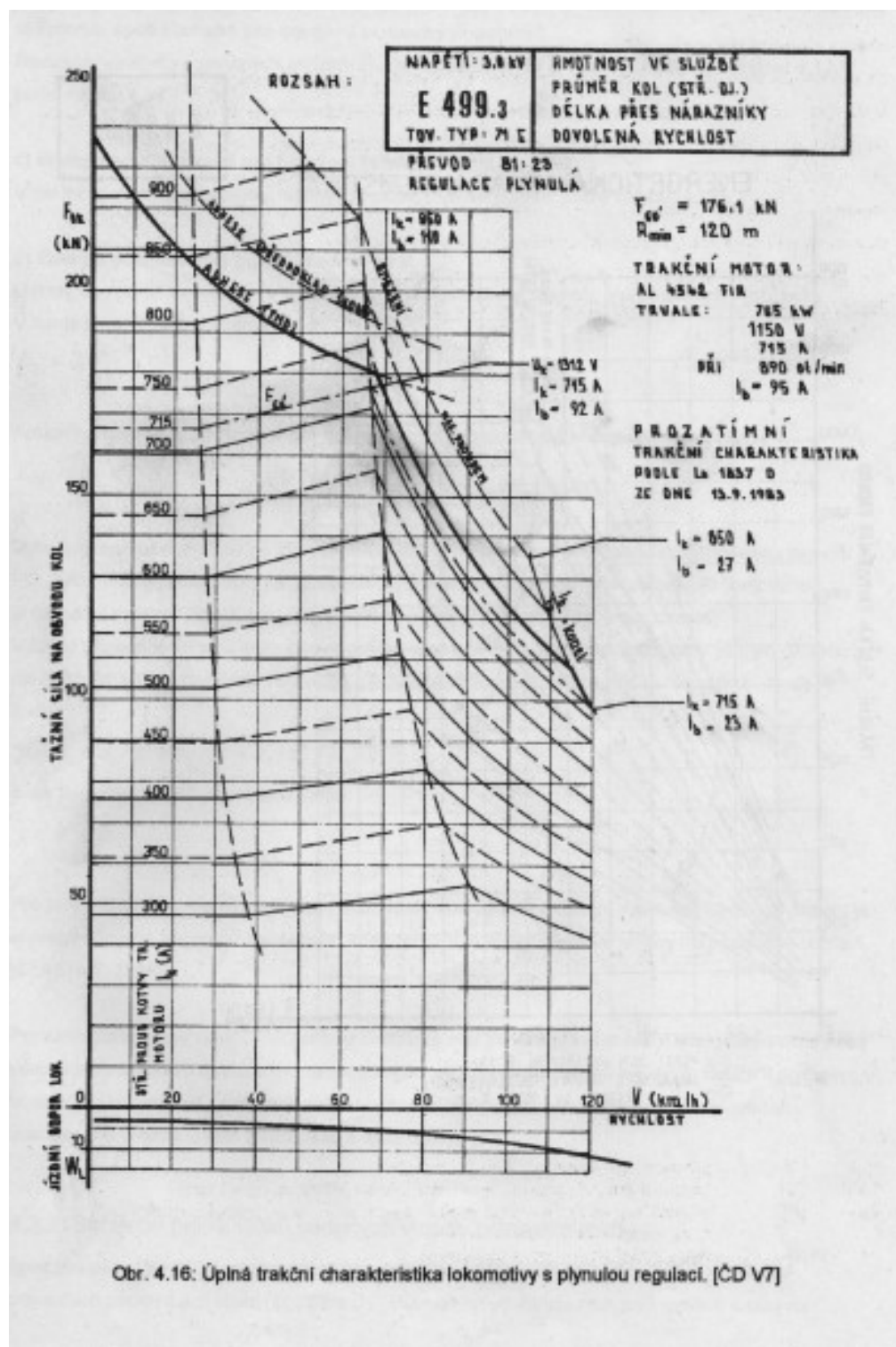
Příloha C: Dráhový tachogram vlaku vedeným HV 479.0 (130), směr Ostrava-Kunčice
– Valašské Meziříčí



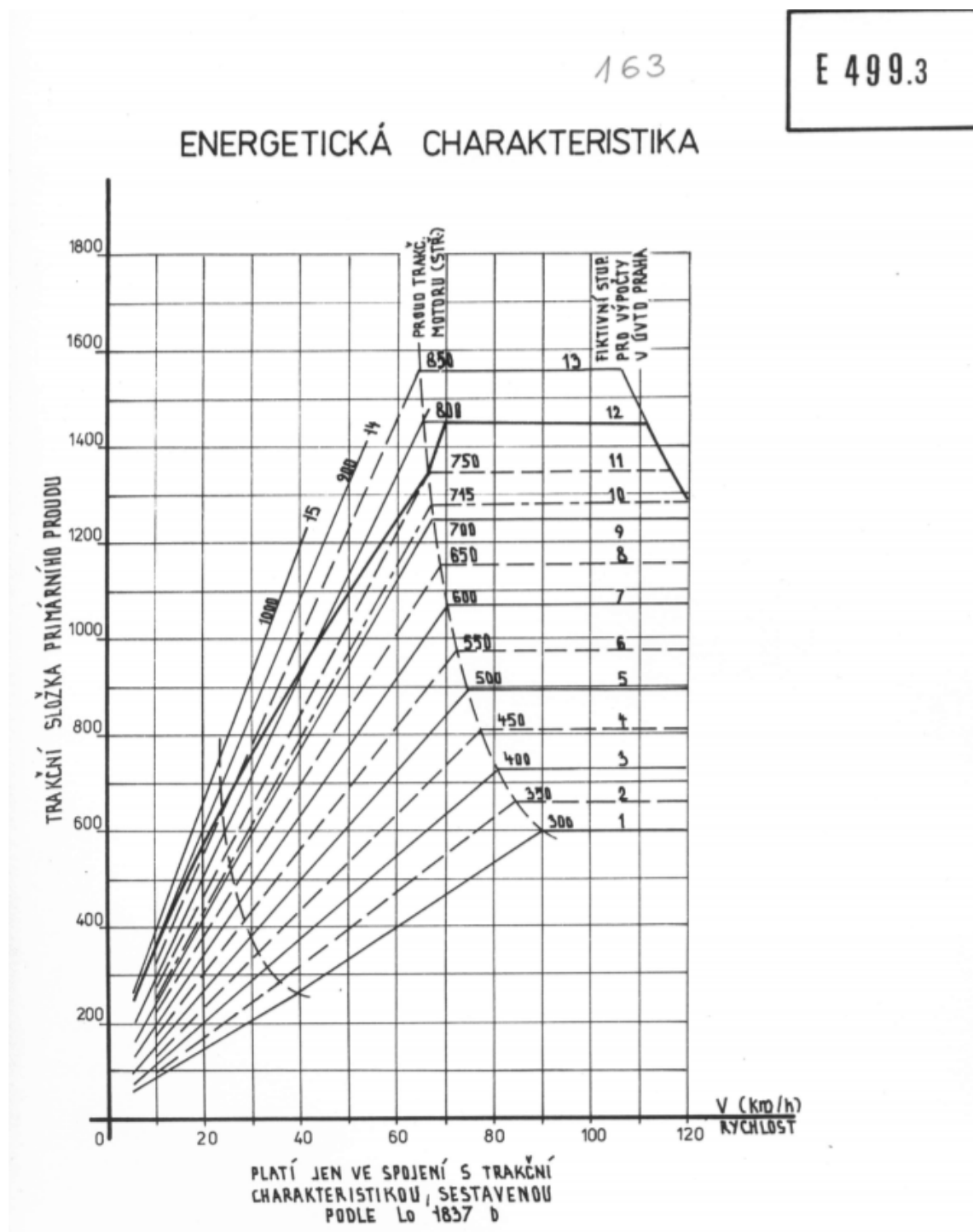
Příloha D: Dráhový tachogram vlaku vedeným HV 479.0 (130), směr Valašské Meziříčí
– Ostrava-Kunčice



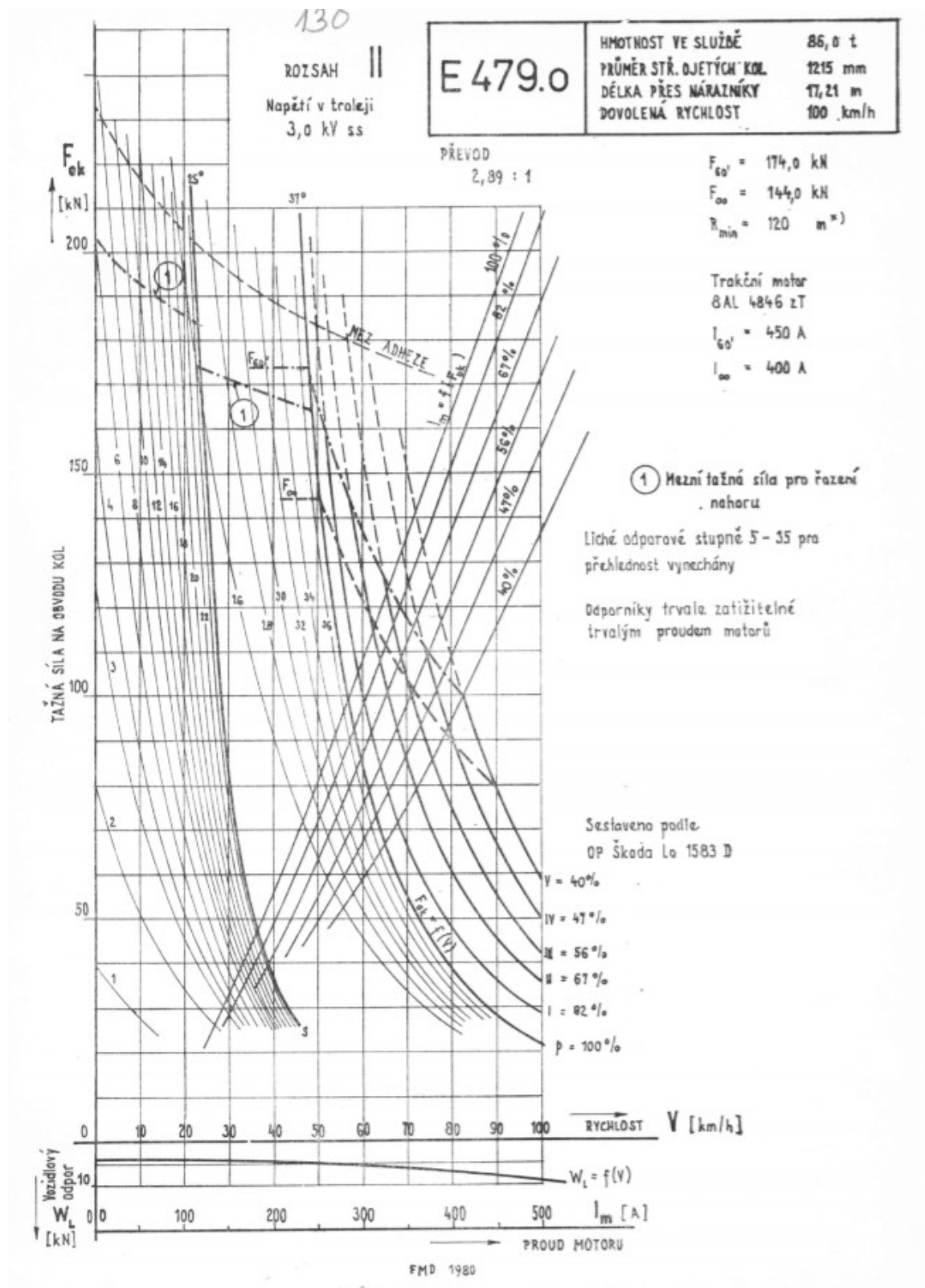
Příloha E: Úplná trakční charakteristika lokomotivy E 499.3 (163)



Příloha F: Energetická charakteristika lokomotivy E 499.3 (163)



Příloha G: Úplná trakční charakteristika lokomotivy E 479.0 (130)



CD:

Příloha H: Zpráva bakalářské práce

Mlotek_David_text_BP.pdf

Mlotek_David_text_BP.docx

Příloha I: Výpočtová část bakalářské práce

Mlotek_David_vypocet_BP.xlsm

Příloha J: Trakční charakteristiky

Tch_130_163.pdf